



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MEDŽIAGOTYROS IR SUVIRINIMO KATEDRA

Mindaugas Rauduvė

**R65 TIPO BĖGIO TERMITINIO SUVIRINIMO MECHANINIŲ SAVYBIŲ
TYRIMAS**

**THE INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF WELDING
QUALITY OF R65 TYPE**

Baigiamasis magistro darbas

Medžiagų ir suvirinimo inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H70005

Pramonės inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2010

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
MEDŽIAGOTYROS IR SUVIRINIMO KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Mindaugas Rauduvė

**R65 TIPO BĖGIO TERMITINIO SUVIRINIMO MECHANINIŲ SAVYBIŲ
TYRIMAS**

**THE INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF WELDING
QUALITY OF R65 TYPE**

Baigiamasis magistro darbas

Medžiagų ir suvirinimo inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H70005

Pramonės inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2010

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Mechanikos fakultetas

Medžiagotyros ir suvirinimo katedra

ISBN ISSN

Egz. sk. 2

Data 2010-06-03

Medžiagų ir suvirinimo inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas
Pavadinimas **R65 tipo bėgio termitinio suvirinimo mechaninių savybių tyrimas.**

Autorius **Mindaugas Rauduvė**

Vadovas doc. dr. **Vitalijus Rudzinkas**

Kalba

☒ X

lietuvių

☐ užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama termitiniu būdu skirtingais parametrais suvirintų bėgių jungčių kokybė. Analizuojama termitinio suvirinimo mišinio kiekio bei pakaitinimo laiko įtaka suvirintų jungčių kokybei. Tam, kad būtų nustatytos suvirintų jungčių mechaninės savybės, buvo atlikti šie bandymai: viršutinės bėgio dalies kiekio bandymas, lėtojo lenkimo bandymas, termiškai suminkštintos zonos kiekio pasiskirstymo matavimas, ilgalaikiai bandymai. Tyrimais nustatyta kokią įtaką turi suvirinus bėgių jungtis be pakaitinimo, esant skirtingiems pakaitinimo laikams ir skirtingam termito kiekiui. Remiantis gautais rezultatais pateiktos išvados.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, tyrimo objektas, literatūros apžvalga, tyrimo metodika, tyrimų rezultatai, išvados, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis: 58 p. teksto be priedų, 36 iliustr., 11 lent., 17 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: suvirinimas, termitas, siūlė, jungtis, bėgis.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of **Mechanics**
Department of **Materials Science and Welding**

ISBN ISSN
Copies No. 2
Date 2010-06-03

Master Degree Studies **Materials and Welding Engineering** study programme Final (Master's Theses)
Title **The investigation of mechanical properties of welding quality of R65 type rail.**
Author **Mindaugas Rauduvė** Academic supervisor Assoc Prof. Dr. **Vitalijus Rudzinskas**

Thesis language

☒ X

Lithuanian

☐

Foreign (English)

Annotation

In the final masters degree thesis examines the quality of using different parameters Aluminothermically welded rail joints. Influence of the quantity of Aluminothermic welding mixture for quality of welded joints, and heating time is analyzing. In order to determine the mechanical properties of welded joints following tests had been made: hardness test of upper part of the rail, long term bending test, hardness test of the distribution of heat-softened area, other long-term tests. Results of research have determined the influence of different heating time and different quantity of thermites content for welded joints without using heating. Based on this results the final conclusion was presented .

The structure of thesis consists six parts: introduction, the object of the research, the overview of literature, methodology of the research, results of the research, conclusions and references.

Thesis consist of: 58 p. text without appendixes, 36 pictures, 11 tables, 17 bibliographical entries.

Keywords: welding, thermit, seam, joint, rail.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS	9
SANTRUMPOS	10
IVADAS.....	11
1. TYRIMO OBJEKTAS.....	12
1.1 Darbo tikslas	13
1.2 Darbo naujumas	13
1.3 Darbo aktualumas	13
1.4 Darbo mokslinė vertė	13
2. LITERATŪROS APŽVALGA	14
2.1 Reikalavimai bėgių medžiagai	14
2.2 Bėgių cheminė sudėtis ir mechaninės savybės	15
2.3 Terminis apdirbimas	17
2.4 Termitinis bėgių suvirinimas	17
2.5 Kontaktinis sandūrinis aplydomasis bėgių suvirinimas	23
2.6 Dujinis slėginis suvirinimas	25
2.7 Lankinis rankinis, lankinis apsauginių dujų aplinkoje po fliusu bėgių suvirinimas	26
2.8 Elektrošlakinis bėgių suvirinimas	30
2.9 Nuovargio bandymas	32
3. TYRIMO METODIKA	33
3.1 Vizualinė suvirintos jungties apžiūra	33
3.2 Termitu suvirintų bėgių siūlių ultragarsinių bandymų procedūra.....	34
3.3 Paviršiaus kietumo matavimo procedūra	35
3.4 Lėtojo lenkimo bandymo procedūra	37
3.5 Sulydymo zona. Forma ir matmenys	38
3.6 Ėsdinimo procedūra	38
3.7 Terminiškai suminkštintos zonos plotis.....	38
3.8 Terminiškai suminkštintos zonos pločio matavimo procedūra.....	39
3.9 Cheminė analizė	41
3.10 Ilgalaikiai bandymai.....	42
4. TYRIMŲ REZULTATAI.....	43
4.1 Vizualinė suvirintos jungties apžiūros rezultatai	43
4.2 Ultragarsinis suvirintos jungties tyrimo rezultatai	43
4.3 Važiuojamosios bėgio dalies paviršiaus kietumo matavimo, Brinelio metodu rezultatai.....	44
4.4 Lėtojo lenkimo bandymo rezultatai	45
4.5 Sulydymo zonos. Formos ir matmenų matavimo rezultatai	48
4.6 Terminiškai suminkštintos zonos pločio matavimo rezultatai	50
4.7 Cheminės sudėties matavimo rezultatai	53
4.8 Ilgalaikiai bandymų rezultatai.....	53
IŠVADOS	54
LITERATŪRA.....	56
Priedai	58

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Besandūrio kelio planas: 1 – izoliuotoji sandūra; 2 – ilgabėgis; 3 – trumpabėgiai (išlyginamieji bėgiai).....	12
1.1 pav. Termitiniu būdu suvirintų bėgių jungtis.....	12
2.1 pav. Bėgių horizontalios plokštumos ir tarpo tarp bėgių nustatymas	20
2.2 pav. Keraminių formų uždėjimas ant bėgių tarpo ir bėgių galų šildymas	20
2.3 pav. Tiglis, kuriame dega termitas	21
2.4 pav. Termitinio suvirinimo technologinė schema.....	21
2.5 pav. Keraminių formų nuėmimas.....	22
2.6 pav. Mechaniniu būdu nuo bėgio galvutės pašalinamos metalo užlajos ir šlakas	22
2.7 pav. Kontaktinio sandūrinio suvirinimo schema.....	23
2.8 pav. Kontaktinio sandūrinio suvirinimo stacionari mašina.....	24
2.9 pav. Kontaktinio sandūrinio suvirinimo mobili mašina.....	24
2.10 pav. a) – bėgių jungties kaitinimas; b) – bėgio perteklinio metalo nusklembimas.....	25
2.11 pav. Bėgių sujungimas, naudojant elektrodus OK 83.28 ir OK 74.78 bei keraminį padėkliuką OK Backing 21.21	27
2.12 pav. Bėgio aplydymas su OK 74.78 ir OK 83.28 arba milteline viela OK 15.43.....	28
2.13 pav. Bėgių galų remontas - elektrodais OK 74.78 ir OK 83.28, miltelinė viela OK 15.43	28
2.14 pav. „Railtrac BV“ – programuojamasis bėgių apvirinimo automatas.....	29
2.15 pav. Elektrošlakinis bėgių suvirinimas	31
2.16 pav. Elektrošlakiniu būdu suvirintų jungčių lūžiai po lėtojo lenkimo bandymo	32
3.1 pav. Nušlifuotas rumbelės paviršius: 1 – 2 mm spindulio zona, 2 – bėgio galvutė, 3 – siūlės rumbelė,....	34
3.2 pav. Paviršiaus kietumo bandymų vietos: 1 – bėgio viršaus centrinė linija; 2 – siūlės skersinė centrinė linija; 3 – bėgio važiuojamasis paviršius.....	37
3.3 pav. Lėtojo lenkimo bandymo schema: 1 – apkrova; 2 – siūlė; $25\text{ mm} \leq r \leq 70\text{ mm}$; mažiausias bandinio ilgis = 1150 mm; apkrovimo sparta $\leq 60\text{ kN/s}$	37
3.4 pav. Sulydymo zonos forma išsėdintame išilginiame vertikaliame pjūvyje: 1 – matuojamas sulydymo zonos ir siūlės plotis viršutinėje bėgio dalyje; 2 – matuojamas sulydymo zonos ir siūlės plotis kakliuke 3 - matuojamas sulydymo zonos ir siūlės plotis pade.....	38
3.5 pav. Išilginis kietumo matavimas: 1 – storis nuo 3 mm iki 5 mm; 2 – pirminis bėgis; 3 – nepaveiktas pirminis bėgis; 4 – sulydymo zona	39
3.6 pav. Tipinis kietumo profilis: 1 – 1 linija; 2 – 2 linija; 3 – siūlės centrinė linija	40
3.7 pav. Principinė schema, kuri parodo eksploatuojamus geležinkelio kelius Kaune, kurie suvirinti pagal tiriamą technologiją: 1 – tarpas tarp bėgių 25 mm, normali termito porcija, 2,5 min. Pakaitinimas; 2 – tarpas tarp bėgių 25 mm, normali termito porcija, 5 min. pakaitinimas.....	42
4.1 pav. BHHD 5 min. Jokių matomų defektų. Suardymo apkrova 1332 kN, įlinkis 9 mm	46
4.2 pav. BH 5 min. Jokių matomų defektų. Suardymo apkrova 1517 kN, įlinkis 12 mm.....	46
4.3 pav. BHHD 2,5 min. Jokių matomų defektų. Suardymo apkrova 1289 kN, įlinkis 10 mm	47
4.4 pav. Bėgis suvirintas nesilaikant technologijos, be išankstinio pakaitinimo. Suardymo apkrova 1095 kN, įlinkis 10 mm	47
4.5 pav. Suvirintos termitiniu būdu, bėgio jungties lūžis.....	48
4.6 pav. BHHD 5 min. makrostruktūra.....	49
4.7 pav. BH 5 min. makrostruktūra.....	49
4.8 pav. BHHD 2,5 min. makrostruktūra.....	50
4.9 pav. Terminiškai suminkštintos zonos kietumo (Vikerso metodu) ir pločio matavimas, bėgis BH 5 min.	51
4.10 pav Terminiškai suminkštintos zonos kietumo (Vikerso metodu) ir pločio matavimas, bėgis BHHD 5 min.	51

4.11 pav. Termiškai suminkštintos zonos kiečio (Vickerso metodu) ir pločio matavimas, bėgis BHHD 2,5 min.	52
---	----

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. Kai kurių bėgių plienų cheminė sudėtis	17
3.1 lentelė. Didžiausi šlako ir smėlio defektų matmenys.....	33
3.2 lentelė. Zondų padėties nustatymas	35
3.3 lentelė. Važiuojamasis paviršiaus kiečio bandymų intervalai	36
3.4 lentelė. Termiškai suminkštintos zonos intervalai	39
3.5 lentelė. Cheminė sudėtis	41
4.1 lentelė. Didžiausi šlako ir smėlio defektų matmenys.....	43
4.2 lentelė. Važiuojamosios bėgio dalies paviršiaus kiečio matavimo rezultatai	44
4.3 lentelė. Lėtojo lenkimo bandymų rezultatai.....	45
4.4 lentelė. Termiškai suminkštintos zonos pločio matavimo rezultatai	50
4.5 lentelė. Cheminė sudėtis	53

SANTRUMPOS

R65 ; UIC 60 ; (60E1) ; R50 – bėgio tipas

GOST – tarpvalstybinis NVS standartas.

CEN – Europos standartizacijos komitetas.

MMA – rankinis lankinis suvirinimas lydžiuoju elektrodu.

HB – Brinelio kietumas.

HV – Vickerso kietumas.

mm – milimetras.

m – metras.

N/mm² – takumas

° C – laipsniai pagal Celsijų.

km/h – kilometrai per valandą.

N – jėgos matavimo vienetas.

MIG – lankinis suvirinimas lydžiuoju elektrodu aktyviose dujose.

MAG – lankinis suvirinimas lydžiuoju elektrodu inertinėse dujose.

IVADAS

Bėgis yra svarbiausias ir brangiausias geležinkelio elementas. Nuo jo būklės priklauso patikimas, nepertraukiamas ir saugus traukinių eismas. Todėl turi būti nustatyti bėgių techniniai reikalavimai, kuriais vadovaujantis atliekamas bėgių priėmimas. Jų paruošimas, suvirinimas, turi garantuoti ilgalaikį bėgių naudojimą. Bėgių būklė priklauso ir nuo jų, ir nuo viso kelio priežiūros.

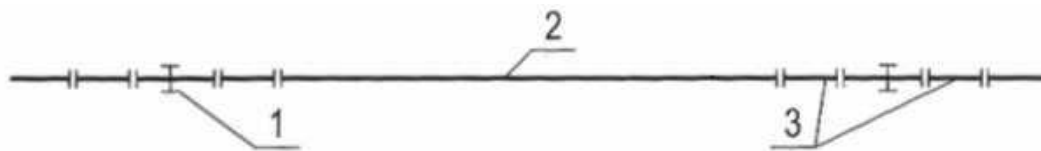
Bėgių sandūra – tai pati silpniausia bėgių kelio vieta. Siekiant sumažinti sandūrų skaičių kelyje keletą dešimtmečių buvo siekiama padidinti standartinių bėgių ilgį. Tačiau esminių pokyčių įvyko, kai buvo plačiai pradėtas tiesti besandūris kelias (XX a. penktajame dešimtmetyje).

Besandūris kelias – tai kelias, kuriam naudojami suvirinti ilgabėgiai. Ilgabėgis – tai 800–1500 m ilgio bėgis, kurį sudaro suvirinti paprastieji (25 m ilgio) bėgiai. Besandūriame kelyje sandūros yra įrengiamos ant tiltų, iešmuose ir automatinės blokuotės ruožuose. Besandūrio kelio pagrindiniai privalumai, lyginant su sandūriniu keliu, yra šie: dėl to, kad besandūriame kelyje nėra sandūrų, traukinio važiavimas keliu yra sklandesnis, viršutinės bėgių kelio konstrukcijos elementai naudojami ilgiau, reikalingos mažesnės išlaidos kelio priežiūrai ir traukinių traukai, mažinamas triukšmas dėl to, kad ratai sandūrose nesidaužo į bėgius. Kadangi besandūriame kelyje nereikia įrengti sandūros sąvaržų, sutaupoma iki 4 t metalo vienam kelio kilometrui.

Labiausiai paplitęs ilgabėgių gamybos būdas – kontaktinis bėgių suvirinimas stacionariomis sąlygomis (įmonėse, bazėse). Į bėgių klojimo vietas ilgabėgiai atvežami specialiais traukiniais. Kai kuriais atvejais ilgabėgiai suvirinami klojimo vietose terminiu būdu.

Ilgabėgių deformacijos dėl temperatūros pokyčių vyksta tik jų galuose. Vidurinė ilgabėgio dalis nesideformuoja. Kai vyksta temperatūros pokyčiai, ilgabėgių galai gali sutrumpėti arba pailgėti. Tam, kad būtų įmanomas šis pailgėjimas arba sutrumpėjimas, tarp ilgabėgių klojami trumpabėgiai (išlyginamieji bėgiai), kurie sudaro ilgabėgių protarpį. Trumpabėgių skaičius nepriklauso nuo ilgabėgių ilgio (tai yra du arba trys bėgiai, kurių ilgis 12,5 m). Blokuojamojo ruožo su automatine blokuote pabaigoje, trumpabėgių zonoje įrengiama izoliuotoji sandūra (1 pav.). Trumpabėgiais taip pat siekiama, kad būtų įmanoma sumažinti temperatūrinius įtempius, jei tai yra būtina.

Ilgabėgius veikia didesnė išilginė jėga, atsirandanti dėl temperatūros pokyčių. Kai ilgabėgio išilimo temperatūra viršija leistinąją, atsiranda išilginės spaudimo jėgos, dėl kurių gali iškrypti bėgių kelio vėžės. Žemoje temperatūroje veikia tempimo jėgos, dėl kurių susidaro dideli bėgio pado įtempiai, ir bėgis gali nutrūkti arba nutrūksta bėgių sandūros ir nupjaunami sandūriniai varžtai.



1 pav. Besandūrio kelio planas: 1 – izoliuotoji sandūra; 2 – ilgabėgis; 3 – trumpabėgiai (išlyginamieji bėgiai)

1. TYRIMO OBJEKTAS

2 vienetai suvirintų R65 bėgių pavyzdžių; 1 m ir 1,2 m ilgio; tarpas tarp bėgių 25 mm; normali termito porcija; 5 min. pakaitinimas (žymėjimas BH 5 min.).

2 vienetai suvirintų R65 bėgių pavyzdžių; 1 m ir 1,2 m ilgio; tarpas tarp bėgių 25 mm; padidinta termito porcija; 2,5 min. pakaitinimas (žymėjimas BHHD 2,5 min.).

2 vienetai suvirintų R65 bėgių pavyzdžių; 1 m ir 1,2 m ilgio; tarpas tarp bėgių 25 mm; padidinta termito porcija; 5 min. pakaitinimas (žymėjimas BHHD 5 min.).

1 suvirintas R65 bėgis; 1,2 m ilgio; tarpas tarp bėgių 25 mm; nesilaikant suvirinimo technologijos, tai yra prieš suvirinimą nepakaitinus (ispanų firmos suvirinimo medžiagos).

1 suvirintas R65 bėgis; 1,2 m ilgio; tarpas tarp bėgių 25 mm; nesilaikant suvirinimo technologijos, tai yra prieš suvirinimą nepakaitinus (vokiečių firmos suvirinimo medžiagos).



1.1 pav. Termitiniu būdu suvirintų bėgių jungtis

1.1 Darbo tikslas

Nustatyti termitinio suvirinimo mišinio kiekio bei pakaitinimo laiko įtaką suvirintų jungčių kokybei, ištirti termitiniu būdu suvirintų bėgių siūlių mechanines savybes.

1.2 Darbo naujumas

Pirmą kartą pasaulyje, termitinis bėgių suvirinimas buvo atliktas 1899 metais Vokietijoje. Lietuvos geležinkeliuose termitinis bėgių suvirinimo būdas taikomas nuo 1999 metų. Ilgabėgių kelių eksploatacijos metu bėgių irimas dažniausiai vyksta per termitiniu būdu suvirintą jungtį. Tačiau Lietuvoje išsamūs termitiniu būdu suvirintų jungčių tyrimai, parodantys gaunamo sujungimo savybes nebuvo atliekami.

1.3 Darbo aktualumas

Bėgio sandūrai keliami tokie reikalavimai: ji turi būti stipri, ilgaamžiška, patikima eksploatuojant, t. y. atspari dilimui, kieta ir kartu netrapi, nes sandūra turi atlaikyti dideles dinamines vertikaliasias, išilgines ir skersines apkrovas. Svarbu ne tik nustatyti defektus bėgiuose ir juos šalinti, kai šie pasiekia kritinį dydį, bet ir atlikti prevencinius darbus, suvirintų siūlių visapusiškas nagrinėjimas parodo galimas bėgių irimo ar kritinių defektų atsiradimo priežastis. Prevencinis darbas sudaro prielaidas išvengti avarinių atvejų, sumažinti išlaidas kelių priežiūrai. Kadangi termitinio suvirinimo bėgių jungties kokybė priklauso didele dalimi nuo suvirintojų kvalifikacijos ir gamtinių sąlygų, tai reikalingi detalūs siūlės tyrimai.

1.4 Darbo mokslinė vertė

Termitinis bėgių suvirinimo būdas iš esmės skiriasi nuo kitų suvirinimo būdų, nes tai yra metalurginis suvirinimo būdas, kurio kokybę lemia ne tik suvirintojo kvalifikacija, bet ir termitinio mišinio sudėtis ir aplinkos sąlygos, todėl išsamūs tyrimai padeda nustatyti geriausią suvirinimo technologiją ir suvirinimui naudojamas medžiagas, kad gautume patikimiausią suvirinimo jungtį. Šis tyrimas ypatingas tuo, kad termitiniu būdu suvirinami bėgiai atitinka GOST standartus, o suvirinimo medžiagos yra atitinkančios CEN standartus.

2. LITERATŪROS APŽVALGA

Bėgių jungties suvirinimas atliekamas įvairiais būdais, dažniausiai: elektrokontaktiniu aplydomuoju ir termitiniu būdu. Japonijoje paplitęs dujinis slėginis suvirinimas. Bėgių remonto darbai atliekami: rankiniu elektrolankiniu būdu, lydžiuoju elektrodu apsauginių dujų aplinkoje ir po flusiu. Tai pat atliktas suvirinimas elektrošlakiniu būdu. Kiekvienas suvirinimo būdas turi trūkumų ir privalumų. Suvirinimas elektrokontaktiniu būdu dažniausiai atliekamas ceche, o šiuo būdu suvirinant bėgių tiesimo vietoje būtini autonominiai, mobilūs įrenginiai, o termitinio suvirinimo įranga nesudėtinga, todėl daugelyje šalių plačiai taikomas termitinis suvirinimo būdas. Rečiau taikomas ir dažniausiai bėgių remontiniams darbams elektrolankinis rankinis, elektrolankinis apsauginių dujų aplinkoje ir po flusu suvirinimas. Termitinis suvirinimo būdas taikomas ir Lietuvoje, tiesiant ilgabėgius ir remontuojant geležinkelio kelius. Tai suvirinimo būdas nereikalaujantis didelių išlaidų suvirinimo įrangai, tačiau ne visada gaunamas pastovios kokybės sujungimas dėl termitinio mišinio kokybės ir operatoriaus patirties.

2.1 Reikalavimai bėgių medžiagai

Bėgiams, skirtiems geležinkeliams, kuriais dideliu greičiu važiuoja sunkiasvoriai traukiniai, keliami ypatingi reikalavimai. Pagrindinis skirtumas tarp besandūrio kelio ir sandūrinio kelio tas, kad besandūriame kelyje ilgabėgius veikia didesnė išilginė jėga, atsirandanti dėl temperatūros pokyčių. Vasara, kai oro temperatūra aukštesnė, ilgabėgiuose atsiranda išilginės spaudimo jėgos; kai tarkim žiemą, temperatūra žema, atsiranda tempimo jėgos, dėl kurių susidaro dideli bėgio pado įtempiai ir dėl jų, gali trūkti bėgių sandūros. Todėl, bėgiui taikomos didelio stiprumo medžiagos, kad atlaikytų vertikalias ir šonines statines apkrovas bei dinaminį judančio traukinio vertikaliojo ir horizontaliojo pagreičių poveikį. Pagrindiniai reikalavimai bėgių medžiagai: bėgių plienas turi būti stiprus ir atsparus dilimui, su minimaliu žalingų priemaišų kiekiu, pakankamai plastiškas, kad būtų galima mechaniškai apdirbti, taip pat būti pakankamai atsparus nuovargiui, kad nesusidarytų vidinių defektų ir paviršinių įtrūkių. Kad nevyktų netolygus ir banguotas dėvėjimasis, bėgiai turi turėti tolygų kietumą ir atsparumą dilimui visame ilgyje, gerai virintis tiesiant besandūrius kelius ir grūdintis visu tūriu. Būdas padidinti atsparumą nuovargiui – gaminti plieną, turintį nedidelį kiekį nemetalinių intarpų. Naudojamas bėgiams plienas turi būti be vidinių įtrūkimų. Vidiniai įtrūkimai (flokėnai) gali gautis įsiskverbusiam į išlydytą metalą vandeniliui kaupiantis aušinimo metu. Vandenilis iš plieno gali būti pašalintas prieš išliejant išlydytą plieną vakuuminiu dujų šalinimo procesu arba labai lėtai aušinant karštus bėgius. Be viso to, gaminant bėgius turi būti gauti numatyti bėgių matmenys ir patenkinti reikalavimai paviršiaus kokybei. Tuo pačiu dilimas ir nuovargio defektų vystymosi greitis būtų

toks, kad geležinkelio kelių ir traukinių eksploatavimas būtų ekonomiškai pagrįstas. Ratų ir bėgių plienų elgsena jų dilimo ar pažeidimų metu priklauso nuo juose susidarančių įtempimų, medžiagos savybių ir aplinkos poveikio. Apkrovoms didėjant didėja (krovinių pervežimo intensyvėjimas, ašinių apkrovų didėjimas) didėja įtempimai bėgių ir ratų medžiagoje. Auga išlaidos susidėvėjusių ratų ir bėgių priežiūrai ir atstatymui. Todėl bėgių ir ratų pažeidimo ir jų dilimo mechanizmų tyrimas viena iš priemonių didinant ratų ir bėgių darbo laiką.

Besandūriai visų kategorijų su mišriomis tarpinėmis sąvaržomis ant skaldos balasto keliai tiesiami tiesiuose ruožuose ir kreivėse, kurių spindulys ne mažesnis kaip 350 m. Iki šiol eksploatuojamame besandūriame kelyje su mediniais pabėgiais (pagrindiniuose keliuose) minimalus kreivės spindulys turi būti ne mažesnis, kaip 800 m. Stotyse, kuriose naudojamas rūšinis žvyro arba žvyro su smėliu balastas, besandūris kelias tiesiamas kreivėse, kurių spindulys ne mažesnis kaip 600 m.

Besandūrio kelio sankasa turi būti patvari ir stabili. Prieš tiesiant besandūrį kelią, sankasa turi būti ištirta. Besandūris kelias tiesiamas ant skaldos balasto, tačiau atvykimo ir išvykimo bei kituose stoties keliuose besandūrio kelio balastas gali būti rūšinio ar karjerinio žvyro, ar žvyro su smėliu. Pabėgiai besandūrio kelio ruožuose turi būti gelžbetoniniai, anksčiau tiestuose besandūrio kelio ruožuose esantys mediniai pabėgiai turi būti keičiami gelžbetoniniais. Viršutinei besandūrio kelio konstrukcijai naudojami R65 arba 60E1 tipo bėgiai. Eksploatuojant besandūrį kelią, ypatingas dėmesys turi būti kreipiamas į kelio būklę plane, tarpinių ir sandūros sąvaržų bei balasto prizmės būklę.

rūšinio ar karjerinio žvyro, ar žvyro su smėliu. Pabėgiai besandūrio kelio ruožuose turi būti gelžbetoniniai, anksčiau tiestuose besandūrio kelio ruožuose esantys mediniai pabėgiai turi būti keičiami gelžbetoniniais. Viršutinei besandūrio kelio konstrukcijai naudojami R65 arba 60E1 tipo bėgiai.

Eksploatuojant besandūrį kelią, ypatingas dėmesys turi būti kreipiamas į kelio būklę plane, tarpinių ir sandūros sąvaržų bei balasto prizmės būklę.

2.2 Bėgių cheminė sudėtis ir mechaninės savybės

Bėgių plienai gaminami iš anglingų plienų, kurių sudėtyje yra 0,6–0,82% anglies. Didėjant anglies kiekiui pliene didėja trapumas, mažėja plastiškumas, didėja jautrumas įtempimų koncentratoriams, blogėja suvirinamumas, tačiau atsparumas dilimui didėja, o tai ilgina eksploatacijos laiką. Anglinio plieno legiravimas didina stiprumą, bei atsparumą dilimui. Kai anglies kiekis pasiekia didžiausią ribą 0,82%, o manganas 1,79%, gaunamas aukšto stiprumo ir atsparus dilimui plienas, taikomas sunkiųjų bėgių gamybai. Daryti tyrimai parodė, kad plieno takumo ribai didžiausią įtaką daro anglis, manganas, silicis ir vanadis. Iš jų manganas ir vanadis, o taip pat kaitinimo normalizacijai laikas teigiamai veikia smūginį tįsumą, o anglis –

neigiamai. Bėgių plienų savybių gerinimui gali būti naudojami ir šie legiravimo elementai: chromas ir nikelis. Beinitinės struktūros plienai gaminami legiruojant įprastiniais legiravimo elementais: molibdenas ir boras skatina beinito susidarymą, anglis, chromas ir manganas suteikia stiprumą, o silicis stabdo karbidų susidarymo procesą, skatinantį atsparumą dilimui.

Lietuvos geležinkelyje tiesiami sunkieji bėgiai iš anglingojo plieno, mikrolegiruoto vanadžiu. Didesnis anglingų (0,7–0,82%) su vanadžiu plienų atsparumas dilimui (10–40%) didesnis, nei be vanadžio aiškinamas ne tik kiek aukštesniu kietumu, bet ir dispersinio kietėjimo metu išsiskiriančiais vanadžio karbidais. Vanadžiu legiruotų plienų atsparumas dilimui priklauso ir nuo grūdinimo bei atleidimo temperatūrų. Jei lygintume identiškos sudėties plieno be vanadžio ir plieno su vanadžiu atsparumą dilimui po atleidimo 580–650 °C temperatūrų intervale, tai plieno su vanadžiu atsparumas dilimui bus 1,8–2,0 kartus aukštesnis nei be vanadžio. Tačiau virš 700 °C atleidimas suvienodina minėtų plienų atsparumą dilimui. Lyginamų plienų pavyzdžių kietumas apytikriai vienodas, optiniu mikroskopu stebima mikrostruktūra praktiškai identiška, o dilimas ženkliai skiriasi. Didžiausias mechaninių savybių didinimo efektas legiruojant vanadžiu gaunamas po atleidimo 550 °C ir aiškinamas dispersinių karbidų buvimu. Vanadis su karbidus sudarančiais elementais sudaro karbidus, kurių dydis keičiasi terminio apdirbimo metu. Vanadžio tirpumas austenite priklauso nuo anglies kiekio pliene ir nuo kaitinimo temperatūros. Šis procesas yra pagrindinis grūdo dydžio ir α - kietojo tirpalo persotinimo arba aušinimo veiksnys. Todėl austenito aušinimo būdas ir atleidimo laipsnis atleidimo metu reguliuoja vanadžio karbidų išsiskyrimą. Taigi, vanadinio plieno padidintas atsparumas atleidimui sąlygojamas ne absoliučiu vanadžio kiekiu, o jo kiekiu, ištirpusiu austenite. Karbidų sudėtis, dispersiškumas ir pasiskirstymas priklauso nuo plieno cheminės sudėties, kaitinimo ir aušinimo procesų. Efektyvus santykinis atsparumas dilimui gaunamas legiruojant kompleksiskai ir optimalus jų kiekis: mangano 1,0–1,4%, silicio 0,3–0,5%, chromo 0,3–0,6% ir vanadžio 0,06–0,15%.

Vidutinio anglingumo plienų tempimo stiprumas apie 430 N/mm² (tai reiškia, kad 1,4 mm viela gali išlaikyti 70 kg svorį). Anglingojo plieno tempimo stiprumas sudaro nuo 900 N/mm² iki 1200 N/mm². (1,4 mm vielą pakeistų 0,8 mm viela).

2.1 lentelė. Kai kurių bėgių plienų cheminė sudėtis

Plieno markė	% elemento masėje								
	Anglis	Manga- nas	Silicis	Vanadis	Titanas	Chromas	Fosfo- ras	Siera	Aliuminis
							ne daugiau kaip		
K78XCF E78XCF	0,74–0,82	00,75-1,05	0,40-0,80	0,05-0,15	-	0,40-0,60	0,025	0,025	0,005
M76F K76F E76F	0,71-0,82		0,25-0,45	0,03-0,15		-	-	0,035 0,030 0,025	0,040 0,035 0,030
M76T K76T E76T				-	0,007-0,025			0,035 0,030 0,025	0,040 0,035 0,030
M76 K76 E76	0,71-0,82		0,75-1,05	0,25-0,45	-	-	-	0,035 0,030 0,025	0,040 0,035 0,030

PASTABOS:

1. Markėje raidės M – marteninis, K – konvertorinis ir E – elektroplienas reiškia plieno lydimo būdą, skaičiai – vidutinį kiekį anglies, raidės F, S, X, T – plieno legiravimas vanadžiu, siliciu, chromu ir titanu.
2. Leistinas masės kiekis likusių elementų – chromo (T1,T2 – termiškai sustiprintuose ir H – termiškai nesustiprintuose kategorijų bėgiuose), nikelio ir vario ne daugiau kaip 0,15 % , kiekvieno, šių elementų masė užima ne daugiau kaip 0,40 %.
3. Cheminė plieno sudėtis R65K bėgių tipui turi atitikti nurodytai, išimtis - anglies masės kiekis, kuris turi būti (0,83 – 0,87) %. Šiuo atveju skaičiai plieno markėje keičiami į 85.

2.3 Terminis apdirbimas

Didėjant anglies kiekiui pliene didėja bėgių atsparumas dilimui. Dilimo intensyvumą galima sumažinti taikant tūrinį ar dalinį, bėgio galvutės terminį apdirbimą, o taip pat pasirenkant legiruotus bėgių plienus. Kai kurie plienai po karšto valcavimo aušinami ore. Kiti plienai nuo 800 °C aušinami greitai purškiant vandenį. Toks greitesnis aušinimas įprastinį 260–300 HB kietumą padidina iki 355–390 HB. Moderniosios terminio apdirbimo sistemos vadinamos gamykliniu terminiu apdirbimu, kurio metu gaunamas smulkios dispersijos perlitas ir plienas tiekiamas su 400 HB kietumu. Tai pasiekama kontroliuojant aušinimo greitį.

2.4 Termitinis bėgių suvirinimas

Bendrieji reikalavimai

Bėgių suvirinimas termitu užtikrina Lietuvos geležinkelių nuorodos nustatytus traukinių važiavimo greičio reikalavimus. Reikalavimai taikomi UIC60 (60E1), R65 ir R50 tipo bėgiams, kurie užgrūdinti tūriniu (toliau – grūdinti) ar paviršiniu (toliau – su užgrūdinta galvute) būdu ir termiškai nesustiprinti (toliau – negrūdinti), suvirinti termitiniu būdu. Vadovaujantis šiais reikalavimais galima suvirinti vienodų bei skirtingų tipų bėgius. Naudojimo sritis - iešmų suvirinimas tiesia ir atšakine kryptimis, taip pat bėgių suvirinimas

pagrindiniuose, atvykimo ir išvykimo bei kalnelio keliuose. Norint garantuoti ilgalaikį iešmų naudojimą (20–25)%, jie suvirinami termitu vadovaujantis reikalavimais. Bėgiai suvirinami termitiniu būdu, kuris sumažina bėgio galvutės kietumą ne daugiau kaip 15 mm į kiekvieną pusę nuo suvirinimo siūlės. Leidžiama suvirinti grūdintus su grūdintais, vienodų arba skirtingų tipų bėgius, taip pat grūdintus arba su užgrūdinta galvute bėgius su negrūdintais bėgiais. Visais atvejais, kai tarpusavyje suvirinami grūdinti bėgiai, arba grūdinti bėgiai su užgrūdinta galvute bėgiais, arba su užgrūdinta galvute bėgiai tarpusavyje, naudojamas padidinto kietumo 1200 markės (su laikina 1200 N/mm² lieto metalo atsparumu) termitas. Suvirinant negrūdintus bėgius naudojamas paprasto kietumo 900 markės (su laikinu 900 N/mm² lieto metalo atsparumu) termitas. Suvirinant negrūdintus bėgius su grūdintais arba su užgrūdinta galvute bėgiais naudojamas paprasto kietumo 900 markės termitas. Termitu galima suvirinti bėgius su skirtinga vertikalia nuodyla. Jeigu aukščio skirtumas tarp bėgių ne didesnis kaip 5 mm, tai naudojamos standartinės keraminės formos. Jeigu dėl vertikalios nuodylos aukščio skirtumas tarp bėgių didesnis kaip 5 mm, tai naudojamos specialios pereinamos formos. Termitas suvirinimui, atsižvelgiant į suvirinamus bėgius, savo sudėtyje turi legiruojančių priedų (mangano, chromo, volframo, molibdeno ir kitų). Termitas įpakotas į nepraleidžiančią drėgmės pakuotę, ant kurios yra žymuo, kurio pirmi skaičiai nurodo suvirinamų bėgių tipo skaičių (pvz.: bėgis R50 – tai „50“). Bėgiai suvirinami, kai oro temperatūra ne žemesnė kaip +5° C. Prireikus atstatyti besandūrį kelią, panaudojus papildomą įkaitinimą, leidžiama suvirinti bėgius kai oro temperatūra ne žemesnė kaip - 5° C. Visos termitinio suvirinimo operacijos turi būti atliekamos taip, kad būtų išvengtas drėgmės prasiskverbimas suvirinimo procese, kadangi net minimali drėgmė suvirinimo procese gali sudaryti sąlygas dujų burbulų atsiradimui termitinės siūlės metalo ir suvirinimas bus įvertintas netinkamu eksploatuoti. Suvirinamų bėgių ilgis turi būti ne mažesnis kaip: I kategorijos pagrindiniuose keliuose – 10,0 m; II kategorijos pagrindiniuose keliuose – 6,25 m; kituose keliuose – 3,00 m.

Jeigu prieš eksploataciją bėgiai buvo privirinti (gamykloje) prie vieno galo iešmų elementuose (smaile, kryžmė) ir kelių sąvažose, kaip numatyta iešmų ir sąvažų konstrukcijoje, tai galima naudoti ir trumpesnius bėgius. Draudžiama suvirinti bėgius su pažeistais galais ar pradegintomis skylėmis ir kai atstumas nuo bėgio galo iki artimiausio skylės krašto visų kategorijų keliams yra mažesnis kaip 60 mm. Prie bėgio galų arčiausiai esančių skylių gręžti nerekomenduojama, nes jos neleis atlikti termitinės sandūros kokybės bandymų aido ir veidrodžio metodu. Jeigu termitinės sandūros zonoje atstumas nors tarp vienos skylės krašto ir termitinės siūlės metalo R65 tipo bėgiuose yra mažesnis kaip 280 mm, tai traukinių greitis neturi būti didesnis kaip 80 km/h. Jeigu termitinės sandūros zonoje yra dvi skylės, nuo kurių krašto iki termitinės siūlės metalo atstumas yra: R65 tipo bėgiuose - mažesnis kaip 280 mm, tai traukinių greitis neturi būti didesnis kaip 40 km/h. Bėgių suvirinimą termitu turi atlikti brigada, kurią, atsižvelgiant į darbų apimtį, sudarytų du - keturi

kelio darbininkai, du – trys suvirintojai, turintys liudijimą bei du bėgių neardomųjų bandymų operatoriai. Brigadai vadovauja Kelių meistrijos (KM) meistras arba brigadininkas. Atsakingas suvirintojas atsako už suvirinimo kokybę ir darbų saugą virinant bėgius. Vienas iš dviejų neardomųjų bandymų operatorių, kuris paskirtas vyresnioju, atsako už ultragarsinių bandymų rezultatus. Esant temperatūriniams įtemptų ilgabėgių suvirinimams (besandūrio kelio ruožuose), pastovus suvirinimo protarpis per visą suvirinimo procesą iki suvirintos sandūros atšalimo žemiau 500 °C turi būti užtikrintas specialiais tempimo prietaisais. Išilginis suvirinamų bėgių poslinkis turi būti kontroliuojamas, naudojant kontrolinius taškus (žymės ant bėgių priešais padėklo prie kiekvieno pabėgio ties suvirinimu). Bėgiai kelyje termitu suvirinami pertraukų tarp traukinių eismo metu. Suvirinus termitu bėgius jie susitraukia. Nuo kiekvienos suvirinimo siūlės susidaro susitraukimas : apie 2 mm, kai protarpio ilgis 25 mm; apie 3 mm, kai protarpio ilgis 50 mm; apie 4 mm, kai protarpio ilgis 75 mm.

Bėgių suvirinimas. Prieš pradėdant suvirinimą, bėgių galai turi būti kruopščiai apžiūrėti, patikrinti defektoskopu (ypač skylių zonoje), skylių briaunos paplatintos (padarytos nuožulos). Bėgių galai nuo trijų pabėgių į kiekvieną pusę turi būti atpalaiduoti, o nuo arčiausiai prie sandūros esančių pabėgių nuimti tvirtinimo elementai ir izoliaciniai tarpikliai. Prieš suvirinimo pradžią nuo bėgių būtina pašalinti mazutą ir tepalų liekanas. Ruošiant bėgius suvirinimui, tarpas tarp jų paliekamas (25 ± 1 mm), nupjaunant bėgių galus mechaniniu būdu. Prireikus atlikti remontinį suvirinimą (išpjauti defektinį suvirinimą ir suvirinti bėgius iš naujo), leidžiama ruošiant bėgius suvirinimui palikti tarpą tarp jų (45 ± 5 mm), arba (75 ± 5 mm). Šiuo atveju naudojamos specialios formos ir papildomos termitinio mišinio porcijos. Siekiant išvengti iešmų ir kelių geometrijos pažeidimų, bėgio išilginis poslinkis suvirinimo metu neleistas. Bėgių galų išdžiovinimui naudojamas dujų – deguonies (propanas su deguonimi; acitilenas su deguonimi) arba dujų – oro mišinio (propanas su oru, benzinas su oru) degiklis, kuriuo bėgių galai įkaitinami po vieną metrą į abi puses nuo sandūros. Norint išlaikyti suvirinimo vietoje bėgių tiesumą horizontalioje plokštumoje, ruošiant sandūras, bėgių galai sukeliama (1,2–1,4 mm), kai tarpas paliekamas (25 ± 1 mm). Sukėlimas kontroliuojamas vieno metro ilgio metaline liniuote ir matavimo pleištu (2.1. pav.). Kai tarpas paliekamas ($45 + 5$ mm), tai pakilimas iki (1,8–2,2 mm), kai tarpas ($75 + 5$ mm), tai pakilimas iki (2,0–2,4 mm).



2.1 pav. Bėgių horizontalios plokštumos ir tarpo tarp bėgių nustatymas

Paruoštas tarpas tarp bėgių iš šonų ir apačios pridengiamas keraminėmis formomis, kurios suteiks po sustingimo įpiltam skystam metalui reikalingą profilį. Keraminės formos sudedamos ir sutvirtinamos bėgių sandūros vietoje. Užsandarinus plyšius klijavimo smėliu, iš viršaus keraminių formų ertmėje atliekamas paruošiamasis bėgių galų šildymas specialiu dujų degikliu, šildoma (atsižvelgiant į oro sąlygas, bėgių tipą) nuo 2,5 min iki 5 min. Dujų degiklio aukštis virš bėgio galvutės turi būti (30-35 mm), (2.2 pav.)



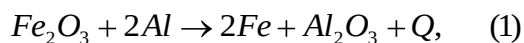
2.2 pav. Keraminių formų uždėjimas ant bėgių tarpo ir bėgių galų šildymas

Po paruošiamojo bėgių galų šildymo, degiklis nuimamas, ir ant formos patalpinamas tiglis su aukštatemperatūriniu kamščiu ir 11 kg (kai suvirinami R65 tipo bėgiai) termitas. Termitas uždegamas termitine lazdele (2.3 pav.).



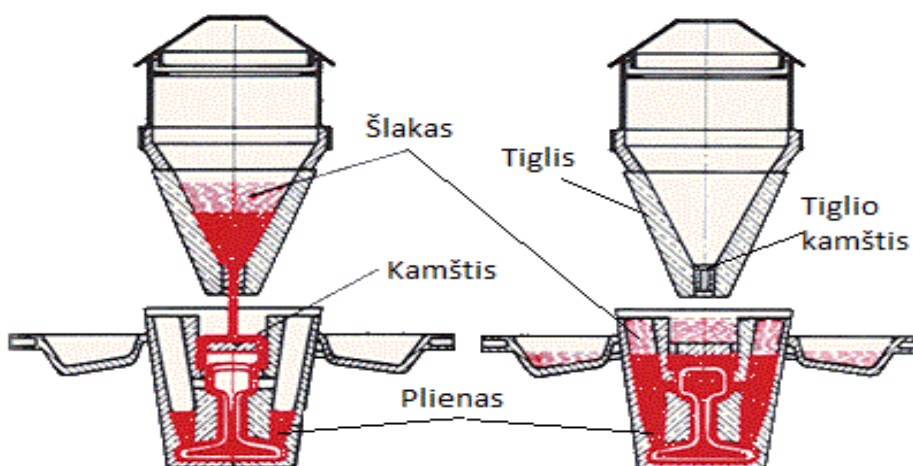
2.3 pav. Tiglis, kuriame dega termitas

Po kelių sekundžių, vykstant anglinio metalo egzoterminei reakcijai, susidaro didelis šilumos kiekis:



geležies oksidas + aliuminis = geležis + aliuminio oksidas + šiluma.

Pasibaigus termitinei reakcijai jos sudėtinės dalys, kurių temperatūra sudaro apie 2500°C, išsiskiria - lengvas šlakas (aliuminio oksidas) plaukioja skystame geležies paviršiuje. Skysta geležis papuola ant tiglio kamščio, kuris automatiškai atsidaro, ir skystas metalas užpildo formą pagal visą bėgio profilį (2.4 pav.).



2.4 pav. Termitinio suvirinimo technologinė schema

Keraminės formos nuimamos po 3–4 min. visiškai susikristalizavus metalui suvirinimo vietoje (2.5 pav.).



2.5 pav. Keraminių formų nuėmimas

Nuėmus formas, dar neatšalus sandūrai nuo bėgio galvutės važiavimo paviršiaus bei jos šonų mechaniniu būdu pašalinamos susidariusios metalo užlajos ir šlakas (2.6 pav.).

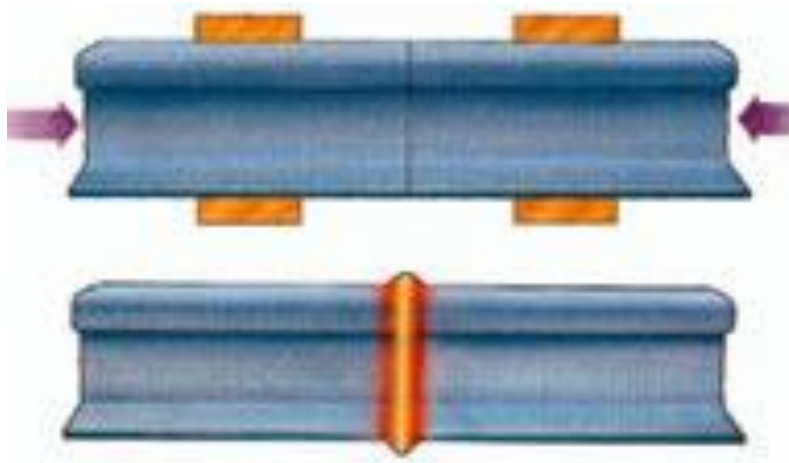


2.6 pav. Mechaniniu būdu nuo bėgio galvutės pašalinamos metalo užlajos ir šlakas

Pašalinus užlajas, bėgio galvutės paviršius šlifuojamas dviem etapais abrazyviniais instrumentais. Po pirmo, grubaus šlifavimo, prireikus gali būti leidžiamas traukinių eismas ne didesniu kaip 15 km/h greičiu. Baigiamasis šlifavimas atliekamas lėkštelės formos abrazyviniu disku visiškai atšalus suvirinimo sandūrai ir sutvirtinus kelią tvirtinimo elementais ir jį pamušus. Bėgio paviršiaus apdirbimo kokybė kontroliuojama liniuote su tarpumačiu. Nuo bėgio kakliuko ir pado likęs smėlio mišinys nuvalomas metaliniu šepečiu. Nušlifuotos bėgio galvutės važiavimo paviršius bei jos šonai suvirinimo vietose turi būti tiesūs. Vieno metro ruože vietiniai nelygumai bėgio galvutės važiavimo paviršiuje neturi viršyti + 0,3 mm; - 0,2 mm, o bėgio galvutės šono darbinėje pusėje neturi viršyti + 0,0 mm; - 0,3 mm. Po bėgio galvutės važiavimo paviršiaus ir jos šonų galutinio šlifavimo, suvirintos sandūros tikrinamos ultragarsiniu metodu. Bėgio metalo temperatūra kontrolės zonoje neturi viršyti + 60 °C. Ultragarsinių bandymų metu suvirintuose R65 tipo bėgiuose aptikus defektą, kuris ne paviršiuje, traukiniams leidžiama važiuoti ne didesniu kaip 25 km/h greičiu. Baigus termitinį bėgių suvirinimą, pabėgiai sutvirtinami padėklėmis, tarpinėmis ir kitomis tvirtinimo detalėmis. Ištaisomas kelias ir sutvarkoma balasto prizmė [2].

2.5 Kontaktinis sandūrinis aplydomasis bėgių suvirinimas

Kontaktinis sandūrinis aplydomasis suvirinimas yra vienas iš kontaktinio suvirinimo būdų. Kontaktinis suvirinimas – tai technologinis procesas, kai detalės sujungiamos įkaitinus jas kontakto vietoje iki plastinės arba skystos būsenos, vienu metu arba po įkaitinimo jas stipriai suspaudžiant, kad galėtų vykti metalų atomų sąveika (2.7 pav.).



2.7 pav. Kontaktinio sandūrinio suvirinimo schema

Kontaktinis suvirinimas – vienas iš našiausių suvirinimo būdų; lengvai mechanizuojamas ir automatizuojamas (2.8 pav.; 2.9 pav.), naudojamas įvairiose technikos srityse.



2.8 pav. Kontaktinio sandūrinio suvirinimo stacionari mašina



2.9 pav. Kontaktinio sandūrinio suvirinimo mobili mašina

Pagal suvirinamo sujungimo formą kontaktinis suvirinimas skirstomas į sandūrinį, taškinį ir ritininį. Suvirinant visais kontaktinio suvirinimo būdais metalas įkaista dėl šilumos, susidarancios tekant elektros srovei per suvirinamas detales.

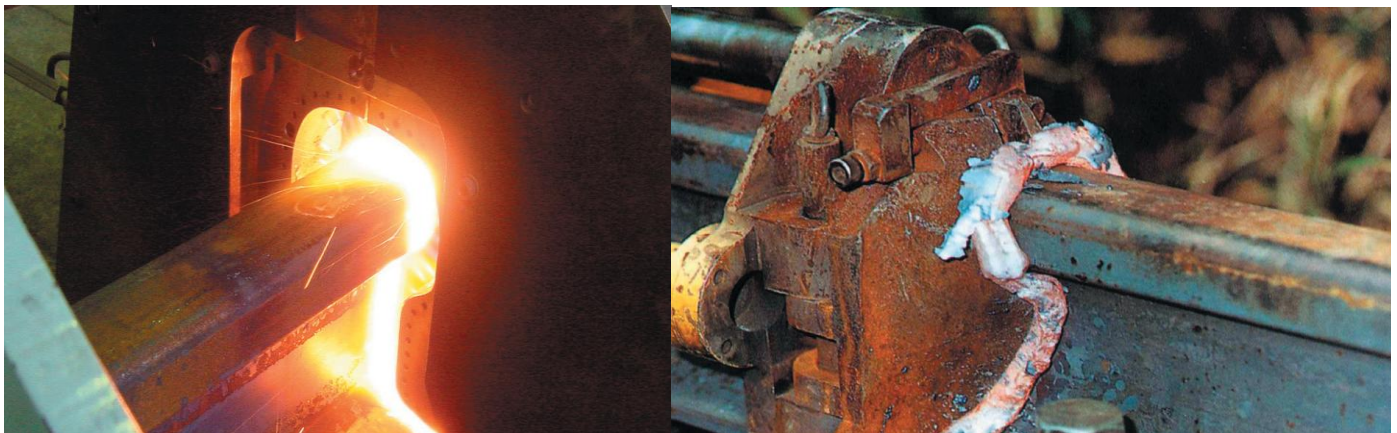
Suvirinant aplydomuoju būdu, detalės suartinamos įjungus transformatorių. Esant nedidelei suspaudimo jėgai, detalių kontakto varža yra didelė. Todėl tekant srovei susilietimo vietos labai įkaista ir greitai apsilydo. Dalis metalo jungimosi taškuose išgaruoja arba ištaškoma. Procesui kartojantis, detalių galai pasidengia skysto metalo sluoksniu. Detalių galuose susidarius skysto metalo plėvelei, srovė išjungžiama ir detalė

suspaudžiamos jėga F . Išsilydęs metalas išspaudžiamas iš sandūros ir sudaro suvirintą sujungimą. Toks būdas yra taikomas virinant vamzdžius, juostas, bėgius. Galima suvirinti iki 10 000 mm² skerspjūvio detales.

2.6 Dujinis slėginis suvirinimas

Dujinis slėginis suvirinimą 1940 m. sukurtas Japonijoje ir JAV. Vėliau šį būdą bėgiams suvirinti bandė pritaikyti Vokietija ir Sovietų Sąjunga. Bet nuo 1960 m. šios šalys bėgius ėmė virinti kontaktiniu aplydomuoju ir termitiniu būdais. Šiandien dujinis slėginis suvirinimas šiose šalyse naudojamas retai. Japonija 1953 m. sukūrė dujų įrangą bėgiams suvirinti. 1970 m. buvo sumažinta tiek, kad galėjo bėgius virinti kelyje. Nuo tų metų šis būdas išplito Japonijoje ir taikomas iki šiol.

Suvirinimo technologija. Deguonies – acetileno liepsna įkaitinami bėgių galai iki 1200 °C (2.10.pav a), prieš tai juos gerai nuvalius ir paruošus suvirinimui. Po to mechaniniu būdu slegiami. Po slėgimo pašalinamas ištryškęs metalas (2.10.pav b).



a)

b)

2.10 pav. a) – bėgių jungties kaitinimas; b) – bėgio perteklinio metalo nusklembimas

Dujiniu būdu suvirintų bėgių siūlės kokybei užtikrinti turi būti išlaikytos šios sąlygos: 1 – tikslus galinių paviršių apdirbimas, 2 – kaitinimas ore, 3 – sąlyginai trumpas kaitinimo laikas, 4 – tam tikras slėgimas ir deformacijos. Norint gauti gerą sujungimo kokybę šios sąlygos turi būti įvykdytos. Šis suvirinimo būdas reikalauja labai aukštos suvirintojų kvalifikacijos. Atlikti bandymai parodė, kad jungties stiprumas, atsparumas nuovargiui (atlaikė daugiau nei 2 mln. ciklų, o naudojant tą pačią apkrovą termitiniu būdu suvirintos jungtys atlaikė 20 000–450 000 ciklų, o kontaktiniu būdu suvirintos jungtys nuo 200 000–600 000 ciklų ir plastiškumas yra geresnis, nei suvirinus termitiniu ar kontaktiniu aplydomuoju būdu. Dujinio suvirinimo privalumas yra nedidelė (mobili) ir pigi įranga, bet mažesnis našumas nei virinant kontaktiniu

būdu. Pagrindinis šio suvirinimo trūkumas yra suvirinimo metu į siūlę patenkantis oksidas, ir taip sukeliantis įtrūkius, todėl virinant šiuo būdu reikalingas labai geras siūlės paruošimas.

2004 m. Japonijoje buvo suvirinta 59 600 bėgių jungčių, iš jų 37 % sudarė termitinis suvirinimas, 31 % - kontaktinis aplydomasis suvirinimas, 26 % – dujinis suvirinimas spaudimu, 6 % – elektrolankinis suvirinimas [15].

2.7 Lankinis rankinis, lankinis apsauginių dujų aplinkoje po fliusu bėgių suvirinimas

Geležinkelio bėgių remontas ir techninė priežiūra. 40 % geležinkelio ruožo kainos sudaro bėgiai.

Toks didelis procentas rodo, kad bet kokios priemonės, ilginančios geležinkelio bėgių eksploataciją, duoda nemažą finansinį efektą. Susidėvėjimo laipsnis priklauso nuo bėgių tipo, judėjimo intensyvumo, svorio ir greičio. Tinkama bėgių priežiūra, laiku atliktas remontas turi didelės įtakos judėjimo saugumui, ilgina eksploataciją, apsaugo bėgius nuo susidėvėjimo. Taigi mažina bendrą žalą geležinkelio sistemai.

Geležinkelio bėgių kokybė. Kiekviena geležinkelių organizacija turi savus bėgių kokybės reikalavimus. Tai priklauso nuo ašies apkrovų, judėjimo intensyvumo, greičio ir pan. Geležinkelio bėgiai gaminami keturių rūšių. Dažniausiai bėgiai gaminami iš anglinio manganinio plieno. Bėgių rūšis priklauso nuo numatomo dėvėjimosi intensyvumo. Bėgių kryžmės irgi gaminamos iš anglinio - manganinio plieno, dažnai naudojant elektrošlakinių suvirinimo būdą. Kryžmės greičiausiai susidėvi. Dabar dažniausiai naudojamas austenitinis – manganinis plienas, nes jis atsparus dėvėjimuisi, smūginėms apkrovoms. Tačiau tokio metalo bėgius reikia tinkamai prižiūrėti, laiku remontuoti.

ESAB firmos geležinkelių suvirinimo programa. ESAB firma visada siekė bendradarbiauti techniniais klausimais su potencialiais vartotojais, todėl dirbdama kartu su “Banverket” (Švedijos nacionaliniai geležinkeliai). ESAB firma sukūrė suvirinimo aparatus ir medžiagų grupę, kurios idealiai tinka geležinkelio bėgiams prižiūrėti ir remontuoti. Šios medžiagos buvo kuriamos vadovaujantis principu, kad būtų labai plačiai pritaikomos priežiūros darbams ir remontui, nepriklausomai nuo bėgių eksploatacijos sąlygų: traukinių judėjimo intensyvumo, greičio ir apkrovų. Todėl medžiagų parinkimas yra supaprastintas, netikslaus parinkimo rizika – minimali. ESAB firmos geležinkelio bėgių suvirinimo darbams naudojamos:

1. Medžiagos:

- Suvirinimui
- Remontiniam suvirinimui
- Apvirinimui

2. Suvirinimo aparatai

- Dirbti lauko sąlygomis

- Dirbti ceche

Aplydymo arba sujungimo medžiagos. Rankinis lankinis metalų suvirinimas – seniausias ir dažniausiai naudojamas geležinkelio bėgių suvirinimo būdas. Jis nepakeičiamas, nes didelės pritaikymo galimybės, yra pigus. Tačiau dabar reikia didinti suvirinimo proceso našumą. ESAB gamina specialias miltelinių savisaugių vielų rūšis šiam poreikiui patenkinti. Šios vielos puikiai tinka dirbti lauko sąlygomis, kai naudojamas mechanizuotas suvirinimas. ESAB medžiagas, skirtas bėgių techninei priežiūrai ir remontui, pagal pritaikymo sritis galima suskirstyti į tokias grupes:

Iešmai. Traukinio vagonas į šalutinį kelią nukreipiamas iešmu. Dėl jėgų, atsirandančių tarp vagono ratų antbriaunio ir iešmo, iešmas susidėvi. Taip pat susidėvi ir sujungtas su iešmu bėgis. Medžiagos, skirtos iešmams remontuoti MMA (rankiniam suvirinimui) OK 83.28 Suvirinimui po fliusu (automatizuotas) OK Tubrod 15.43

Bėgių sandūrų sujungimas. Vientisi bėgiai mažiau nusidėvi, nes judėjimas jais yra tolygesnis, o bėgių galai nesideformuoja. Bėgių galams sujungti naudojamas rankinis suvirinimo būdas, gaunama ypač atspari siūlė. Siūlės atsparumas priklauso nuo padėkliuko, kuris naudojamas suvirinimo metu. Suvirinant šiuo būdu labai tolygiai pereinama tarp siūlės ir bėgio (2.11.pav.).



2.11 pav. Bėgių sujungimas, naudojant elektrodus OK 83.28 ir OK 74.78 bei keraminį padėkliuką OK Backing 21.21

Bėgio aplydymas su OK 74.78 ir OK 83.28 arba milteline viela OK 15.43.(2 kuris naudojamas suvirinimo metu. Suvirinant šiuo būdu labai tolygiai pereinama tarp siūlės ir bėgio.

Bėgių galai deformuojasi veikiami apkrovų. Esant dideliam tarpui tarp bėgių, jie nusidėvi daugiau. Bėgių nusidėvėjimas ir deformacija turi įtakos ir geležinkelio vagonų aširačiams. Delsimas remontuoti blogina vagono aširačių judėjimo charakteristikas, bėgių techninę būklę ir, aišku, eismo saugumą.

Pagrindinė bėgio dalis. Įvairaus dydžio įtrūkimai yra pavojingiausi konstrukcijų defektai. Aptikus įtrūkimus, geležinkelio bėgius reikia nedelsiant remontuoti.



2.12 pav. Bėgio aplydymas su OK 74.78 ir OK 83.28 arba milteline viela OK 15.43

Kryžmės. Pagrindinis reikalavimas kryžmėms – pakankamas pasipriešinimas smūgiams, kai sukasi vagono aširačiai. Kryžmės dažniausiai gaminamos iš anglinio – manganinio plieno. Dėl mažesnio atsparumo nusidėvėjimui iš šio plieno pagamintos detalės reikia dažniau remontuoti, negu pagamintos iš austenitinio-manganinio plieno.



2.13 pav. Bėgių galų remontas - elektrodais OK 74.78 ir OK 83.28, miltelinė viela OK 15.43

Austenitinis-manganinis plienas. Šis plienas dažniausiai naudojamas kryžmėms gaminti, nes yra atsparesnis smūginėms apkrovoms. Tačiau liejant gaminius iš šio metalo, kyla daug problemų. Visi liejimo defektai ir lieto gaminio formos netikslumai išryškėja eksploatacijos metu, ypač esant tam tikram nusidėvėjimo laipsniui.

Suvirinimo aparatūra, skirta geležinkelio bėgiams remontuoti

Suvirinimo generatoriai KHH DSS ir KHH 400 LDSS yra skirti darbui lauko sąlygomis. Tai tiristoriniai suvirinimo generatoriai, kurių suvirinimo srovė yra 30–450 A esant 35 % apkrovos ciklui. 70 V tuščiosios eigos įtampa yra padidinama, tam tikslui skirta speciali funkcija „Arc-Force“. Tai suteikia puikias suvirinimo charakteristikas. KHH 400 DSS/LDSS turi vienfazį ir trifazį 10 ir 15 KVA išėjimus. KHH 400 DSS komplektuojamas su trijų cilindrų „Deutz“ dyzeliniu varikliu, o KHH - su keturių cilindrų „Deutz“ varikliu.

Suvirinimo aparatas LUA 400 idealiai tinka bėgiams prižiūrėti ir remontuoti. Jis mažai sveria, nesunkiai pernešamas, labai universalus - skirtas virinti įvairiais būdais: MMA, MIG/MAG arba TIG. Šio aparato puikios suvirinimo charakteristikos. Jis yra patikimas, juo dirbant garantuojamas geras suvirinimo lanko uždegimas, nedaug taško metalo, labai stabilus suvirinimo lankas, naujausios kartos elektronika kontroliuoja suvirinimo procesą. Suvirinimo srovė: 30–400 A Tuščios eigos įtampa 65–75 V Maksimali suvirinimo srovė esant 35 % darbinio ciklo – 400 A.



2.14 pav. „Railtrac BV“ – programuojamasis bėgių apvirinimo automatas

“Railtrac BV” yra programuojamasis automatinis aparatas bėgiams mechanizuotai remontuoti ir apvirinti, naudojant miltelines vielas. Šią įrangą gali greitai surinkti, užprogramuoti ir valdyti vienas žmogus. Sistema susideda iš dviejų laikiklių, aliuminio rėmo, važiuoklės, suvirinimo galvutės su skersinio vedžiojimo įrenginio, kontrolės bloko ir nuotolinio valdymo pulto. Galima naudoti įvairias suvirinimo proceso valdymo programas, atsižvelgiant į reikiamo prilydyti metalo storį. “Railtrac BV” suvirinimo greitis – 20–500 mm/min., skersinio vedžiojimo plotis – 1–85 mm ir maksimalus siūlės ilgis – 1400 mm.

Suvirinimo procesai. MMA, arba rankinis suvirinimas, ypač populiarius suvirinimo būdas, sėkmingai naudojamas jau daug metų, bus naudojamas ir ateityje. Atsiradus poreikiui padidinti bėgių priežiūros darbų ir

remonto našumą, pradėta naudoti savisaukę miltelinę vielą, nes padidėja suvirinimo proceso greitis. Be to, naudojant šią vielą sumažėjo suvirinimo defektų, kurie atsiranda dėl dažnų ėjimų.

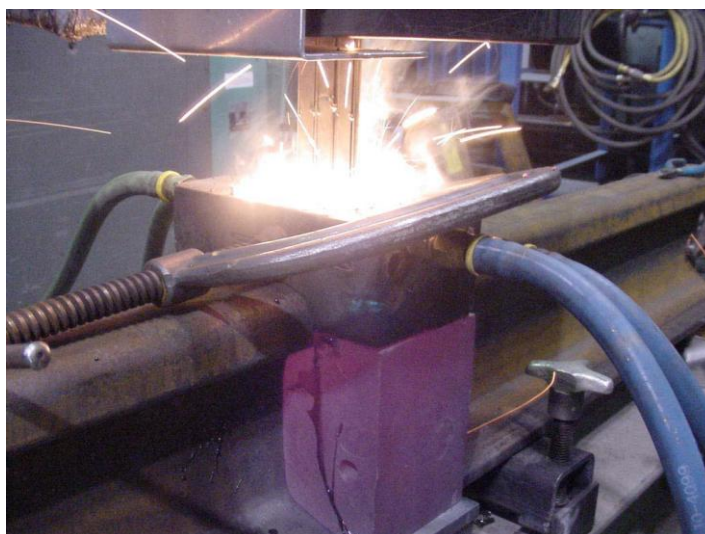
Suvirinimo procedūros ir technologijos. Šiems darbams sudarytos įvairios suvirinimo procedūros ir technologijos buvo tikrintos ir patvirtintos daugelio metų praktika. Griežtas suvirinimo procedūrų laikymasis ir tinkamų medžiagų panaudojimas saugo nuo klaidų, garantuoja remontinio suvirinimo darbų kokybę ir restauruotų konstrukcijų ilgalaikiškumą. Dirbant su C–Mn plieno gaminiams labai svarbu tinkamai prieš suvirinimą pakaitinti plieną, palaikyti tam tikrą temperatūrą suvirinimo ir aušimo metu. Manganinio plieno gaminių, kurių cheminėje sudėtyje yra 11–15% Mn, suvirinimo technologija turi savo ypatumus. Šie plienai yra nemagnetiški ir praktikoje gali būti paprastai identifikuoti. Šie plienai yra neatsparūs karščiui ir pradeda trūkinėti, esant aukštesnei nei 200 °C temperatūrai. Minėtų technologinių reikalavimų reikia laikytis remontuojant šių tipų plieno gaminius, nors gaminių nusidėvėjimo mechanizmas gali labai skirtis.

Ekonomika. Geležinkelio bėgiams ir kai kurioms dalims pakeisti reikia nemažai finansinių išteklių. Tačiau išlaidas galima sumažinti atliekant bėgių remontinį apvirinimą. Apvirinant kai kuriuos bėgių elementus, pailginamas bėgių tarnavimo laikas ir sutaupomos lėšos, palyginti su išlaidomis, kurių reikia nusidėvėjusiems bėgiams pakeisti. Pavyzdžiui, kryžmės remontinio apvirinimo darbų savikaina sudaro tik 20% bėgių pakeitimo išlaidų. Nors rankinis suvirinimas ir ateityje bus naudojamas, kaip vienas iš dažniausiai taikomų suvirinimo būdų, suvirinimas viela – MIG/MAG būdas – vis dažniau naudojamas geležinkeliams remontuoti. Pusiau automatinis suvirinimas populiarėja dėl galimybės naudoti miltelines vielas – tada suvirinama nepalyginti didesniu suvirinimo greičiu, taupomos darbo jėgos sąnaudos.

Ilgų bėgių apdorojimas dirbtuvėse. ESAB firmos automatinės bėgių galų suvirinimo mašinos atitinka visus pagrindinių pasaulinių geležinkelių standartizavimo organizacijų saugumo reikalavimus. Unikali mikroprocesorinė suvirinimo proceso kontrolė, todėl gaunami ypač puikūs rezultatai. Valdoma kompiuteriu, todėl pagrindiniai suvirinimo proceso parametrai gali būti stebimi ekrane ir, jei reikia, išspausdinti diagramose [3].

2.8 Eлектроšlakinis bėgių suvirinimas

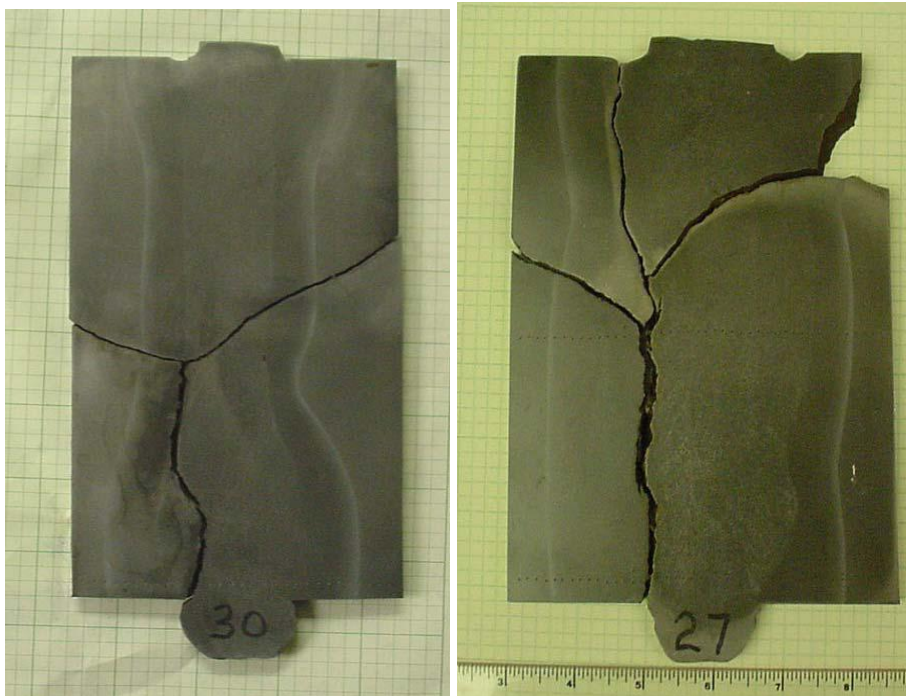
Suvirinimo proceso pradžioje tarp elektrodo ir detalių uždegamas suvirinimo lankas. Kai sujungime esantis flisas pradeda lydytis, susidaro skysto šlako vonelė. Padidėjus skysto šlako temperatūrai ir elektriniam laidumui, suvirinimo lankas yra užgesinamas, o suvirinimo srovė yra perduodama per skystą šlaką.



2.15 pav. Elektrošlakinis bėgių suvirinimas

Sujungimų suvirinimas atliekamas tarp fiksuotų arba perstumiamų, vandeniu aušinamų varinių trinkelėlių. Suvirinimo proceso metu suvirinimo galvutė juda aukštyn. Priklausomai nuo suvirinamų detalių storio naudojama viena ar daugiau suvirinimo vielų. Jei detalės labai storos, suvirinimas atliekamas elektrodus vedžiodami skersai suvirinamo sujungimo. Šio metodo privalumai: aukštas našumas; nedidelės detalių paruošimo sąnaudos; sujungimas užvirinamas vienu ėjimu, nepriklausomai nuo detalių storio; sudurtinis sujungimas po suvirinimo nesideformuoja; maži skersiniai įtempiai; maža tikimybė atsirasti vandenilio įtrūkiams. Šio metodo trūkumas – dėl didelio įvedamo energijos kiekio, aušinimas vyksta lėtai, todėl grūdeliai išauga terminio poveikio zonoje. Sumažėjęs pagrindinio metalo smūginis tūsumas terminio poveikio zonoje apriboja konstrukcijų, suvirintų šiuo procesu, naudojimą žemose temperatūrose.

Elektrošlakiniu būdu JAV buvo atliktas eksperimentinis suvirinimas, norint rasti alternatyvą termitiniam ir kontaktiniam bėgių suvirinimo būdai. Tikslas buvo: pasiekti tokį patį jungties stiprumą, kietumą, mikrostruktūros sudėtį, kaip yra gaunama suvirinant termitiniu ar kontaktiniu būdais. Siūlės kietumas gautas apie 400 HB panašus, kaip suvirinus termitiniu būdu. Gauta perlitinė jungties struktūra, ji atitinka standarto reikalavimus. Lėtojo lenkimo bandymai ir įlinkio dydis neprilygo termitiniu ir kontaktiniu būdu suvirintoms jungtims. Vienos elektrošlakiniu būdu suvirintos jungties kaina yra apie 650 Lt, termitiniu būdu apie 900 Lt, o kontaktiniu – apie 1300 Lt. Suvirinimo laikas apie 30–45 min. Po lėtojo lenkimo bandymo, jungtis trūko ne tik per siūlę, bet ir per pagrindinį metalą (2.18 pav.), palyginti su termitiniu suvirinimu, tai jungtis trūksta tik per siūlę [16].



2.16 pav. Elektrošlakiniu būdu suvirintų jungčių lūžiai po lėtojo lenkimo bandymo

2.9 Nuovargio bandymas

Nuovargio stipris turi būti vertinamas pagal laiptinę arba pakartotinę, po bandymų atliekamą procedūrą. Nuovargio stipris, išreikštas vidutinio nuovargio stiprio ir standartinio nuokrypio vertėmis taikant laiptinį metodą arba mažiausios didžiausio įtempio bėgio pade verte taikant pakartotinio vertinimo po bandymo metodą. Visi bandiniai, kurie išlieka nesutrūkę po nuovargio bandymo, turi būti sulaužyti lėtuju lenkimu, kad būtų galima ištirti lūžio paviršius. Darant bandymą pagal laiptinį metodą, nuovargio bandymo metu sutrūkusių siūlių lūžio paviršiai turi būti ištirti juos apžiūrint. Jeigu nuovargis atsirado dėl sulydymo defekto, procedūrą reikia atmesti kaip netinkamą. Visų siūlių, nesvarbu kaip jos būtų sulaužytos, lūžio paviršių vientisumas turi būti ištirtas. Reikia įvertinti siūlės nuovargio stiprio pasiskirstymą atliekant 5 milijonus ciklų. Nuovargio stipris yra matuojamas kaip nominalus siūlės pado ribinio sluoksnio Ryšys tarp pridėtos apkrovos ir nominalaus ribinio sluoksnio įtempio yra nustatomas naudojant gryno bėgio atkarpą, prie kurios pritvirtinti įtempių jutikliai ir kuri apkraunama cikliška bandymo dažniu. Dabar siūlė turi būti cikliška apkraunama sinusinės formos apkrova taip, kad būtų pasiekta didžiausia ir mažiausia jėgos vertė. Nurodytos vertės būti palaikomos 2% nuo reikalingos nominalios vertės tikslumu. Ciklinės apkrovos bandymas turi būti tęsiamas tol, kol bandinys sulūžta arba kol atliekama 5 milijonai ciklų. Jeigu bandinys sulūžta, bandymo rezultatas turi būti užrašomas kaip lūžis. Jeigu jis nesulūžta, turi būti užrašoma, kad bandymas išlaikytas. Tikėtina, kad dauguma atvejų yra tinkamas 500 kN arba 1000 kN apkrovos mechanizmas, atsižvelgus į išorinį atstumą [5].

3. TYRIMO METODIKA

Termitiniu būdu suvirintų R65 bėgių jungties tyrimui taikyti tyrimo metodai:

Vizualinė suvirintos jungties apžiūra

Ultragarsinis suvirintos jungties tyrimas

Važiuojamasis paviršiaus kietumo bandymas

Lėtojo lenkimo bandymas

Makroskopinis tyrimas

Terminiškai suminkštintos zonos pločio matavimo procedūra

Cheminė analizė

Ilgalaikiai bandymai

3.1 Vizualinė suvirintos jungties apžiūra

Po viršutinio sluoksnio nuvalymo ir galutinio šlifavimo suvirintos siūlės rumbelės paviršiaus vientisumas turi būti patikrintas ją apžiūrint:

neturi būti jokių įtrūkių, kurių ilgis 2 mm ar didesnis. Sandūros tarp siūlės rumbelės ir bėgio bei tarp išlajos ir bėgio nelaikomos įtrūkiais;

bandinyje, neskaitant išlajos turi nebūti jokių didesnių kaip 3 mm porų, ir neturi būti daugiau kaip trijų porų, kurių dydis nuo 2 mm iki 3 mm;

šlako ar smėlio intarpai neturi viršyti 3.1 lentelėje pateiktų ribų. Joks defektas neturi patekti į bėgio skerspjūvį ar siekti siūlės rumbelės ir bėgio susikirtimo briauną.

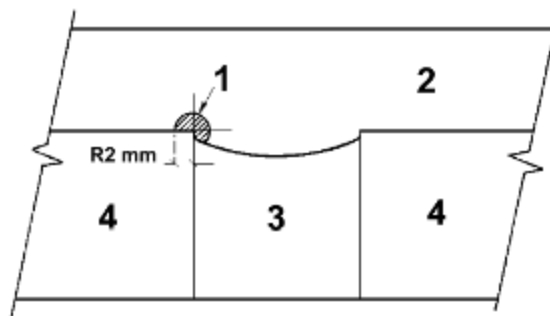
3.1 lentelė. Didžiausi šlako ir smėlio defektų matmenys

Paviršiaus matmuo (maks.)	Storis (maks.)
10 mm	3 mm
15 mm	2 mm
20 mm	1 mm

Bėgio galvutė ir nušlifuotas siūlės rumbelės paviršius abiejose bėgio galvutės pusėse turi atitikti šiuos reikalavimus:

– neturi būti jokių įtrūkių. Sandūros tarp siūlės rumbelės ir bėgio bei tarp išlajos ir bėgio nelaikomos įtrūkiais;

- turi nebūti jokių defektų (porų, šlako ir smėlio intarpų, metalo purslų), kurių matmenys didesni kaip 1 mm;
- daugiausiai ne didesnio kaip 2 mm matmens defektas turi būti priimtinas 2 paveikslo užbrūkšniuotoje 1 zonoje ne daugiau kaip 10 % bandomųjų siūlių arba vienoje siūlėje, jeigu iš viso yra mažiau kaip 10 siūlių [5].



3.1 pav. Nušlifluotas rumbelės paviršius: 1 – 2 mm spindulio zona, 2 – bėgio galvutė, 3 – siūlės rumbelė, 4 – bėgio kakliukas

3.2 Termitu suvirintų bėgių siūlių ultragarsinių bandymų procedūra

Siūlės galvutės zonos bandymas. Zondai – vienas dvigubo kristalo 70° skersinės bangos; 2 MHz dažnis. Zondo padėtis bandymui – bėgio važiuojamasis paviršius. Išbrokavimo lygis – bet kokie signalai nuo defektų $\geq$ signalas nuo 5 mm skersmens kiaurymės plokščiu dugnu.

Siūlės galvutės zonos bandymas. Zondai – du vieno kristalo 70° skersinės bangos; 2 MHz dažnis. Papildomas aparatas – mechaninis įtaisas padėti pozicijuoti zondus. Zondų padėtis bandymui – bėgio galvutės šonai. Išbrokavimo lygis – bet kokie signalai nuo defektų $\geq$ signalas nuo 10 mm skersmens kiaurymės plokščiu dugnu.

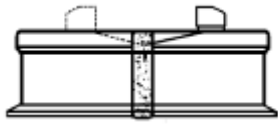
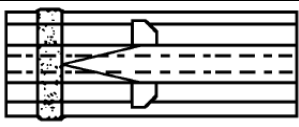
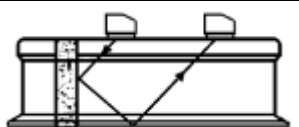
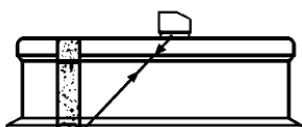
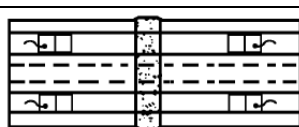
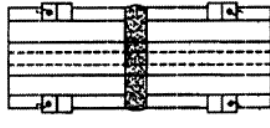
Siūlės galvutės ir kaklelio zonos bandymas. Zondai – du vieno kristalo 45° skersinės bangos; 2 MHz dažnis. Papildomas aparatas – mechaninis pagalbinis zondų padėties nustatymo įtaisas. Zondų padėtis bandymui – bėgio važiuojamasis paviršius. Išbrokavimo lygis – bet kokie signalai nuo defektų $\geq$ signalas nuo 10 mm skersmens kiaurymės plokščiu dugnu.

Siūlės pado vidurinės zonos bandymas. Zondai – vienas vieno kristalo 45° skersinės bangos; 2 MHz arba 4 MHz dažnis. Zondo padėtis bandymui – bėgio važiuojamasis paviršius. Išbrokavimo lygis – bet kokie signalai nuo defektų $\geq$ signalas nuo 10 mm skersmens kiaurymės plokščiu dugnu.

Siūlės pado įlinkio zonos bandymas. Zondai – vienas vieno kristalo 70° skersinės bangos; 2 MHz arba 4 MHz dažnis. Zondo padėtis bandymui – viršutinis įlinkio paviršius ant bėgio greta siūlės. Išbrokavimo lygis – bet kokie signalai nuo defektų $\geq$ signalas nuo 5 mm skersmens kiaurymės plokščiu dugnu.

Siūlės pado krašto zonos bandymas. Zondai – vienas vieno kristalo 70° skersinės bangos; 2 MHz arba 4 MHz dažnis. Zondo padėtis bandymui – viršutinis pado paviršius, ant bėgio greta siūlės. Išbrokavimo lygis – bet kokie signalai nuo defektų $\geq$ signalas nuo 5 mm skersmens kiaurymės plokščiu dugnu [5].

3.2 lentelė. Zondų padėties nustatymas

1.	Galvutės bandymas neplokštuminiams defektams nustatyti		Vienas 70° dvigubo kristalo zondas iš abiejų pusių
2.	Galvutės bandymas plokštuminiams defektams nustatyti		Du 70° vieno kristalo zondai (siųstuvas ir imtuvas)
3.	Kaklelio bandymas neplokštuminiams defektams nustatyti		Du 45° vieno kristalo zondai kartu su padėties nustatymo įtaisais
4.	Pado vidurio bandymas		Vienas 45° dvigubo kristalo zondas iš abiejų pusių
5.	Pado išlinkių bandymas		Vienas 70° dvigubo kristalo zondas
6.	Pado sparnų bandymas		Vienas 70° dvigubo kristalo zondas

3.3 Paviršiaus kiečio matavimo procedūra

Kiekvienos siūlės trijų kiečio matavimų vidurkis neturi viršyti 3.3 lentelėje atitinkamai pirminio bėgio markei pateikto intervalo.

3.3 lentelė. Važiuojamasis paviršiaus kietumo bandymų intervalai

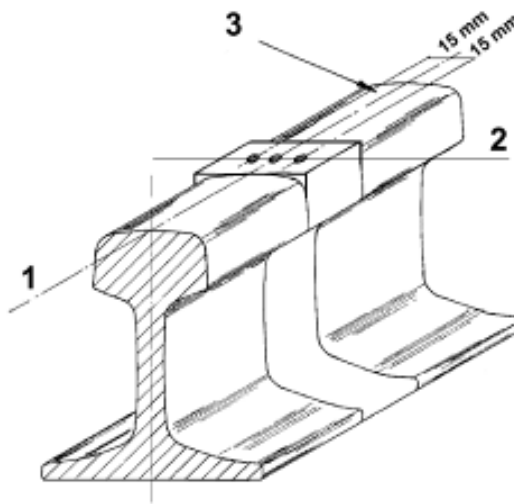
Bėgio markė	Kietumo intervalas HB	
	Bėgio važiuojamasis paviršius ant nepaveikto pirminio bėgio	Siūlės centrinė linija
R200	nuo 200 iki 240	230 ± 20
R220	nuo 220 iki 260	250 ± 20
R260	nuo 260 iki 300	280 ± 20
R260	nuo 260 iki 300	300 ± 20
R260Mn	nuo 260 iki 300	280 ± 20
R320Cr	nuo 320 iki 360	330 ± 20
R350HT	nuo 350 iki 390	350 ± 20
R350LHT	nuo 350 iki 390	350 ± 20
PASTABA. Prieš darant kietumo matavimo įspaudą, nuo važiuojamasis paviršiaus turi būti nušlifuotas 0,5 mm sluoksnis.		

PASTABA. Chromo lydinio ir termiškai apdorotųjų markių siūlių kietis centrinėje linijoje yra nustatytas mažesnis už bėgio važiuojamasis paviršiaus kietumo vertes, siekiant užtikrinti visiškai perlitinę struktūrą. Kietumo profilis išilgai bėgio siūlių paviršiaus centrinės linijos keičiasi priklausomai nuo priemaišinių elementų kiekio ir daugiau priemaišų turinčios siūlės yra santykinai didesnio kietumo siūlių kraštuose. Todėl, kad būtų pasiektas tikslus vidutinis kietis, reikalingas mažesnis kietis centrinėje linijoje.

Brinelio kietumo matavimo bandymai turi būti atliekami pagal EN ISO 6506–1 naudojant:

- 10 mm skersmens volframo karbido rutuliuką;
- 3000 kg bandymo apkrovą;
- apkrovos trukmę, lygią 15 sekundžių

Bandomosios siūlės viršus turi būti nušlifuotas iki plokščio paviršiaus, kuris yra bėgio viršaus susikirtimo su vertikaliąja bėgio ašimi taško liestinėje, kaip tai pavaizduota 3.2 paveiksle.

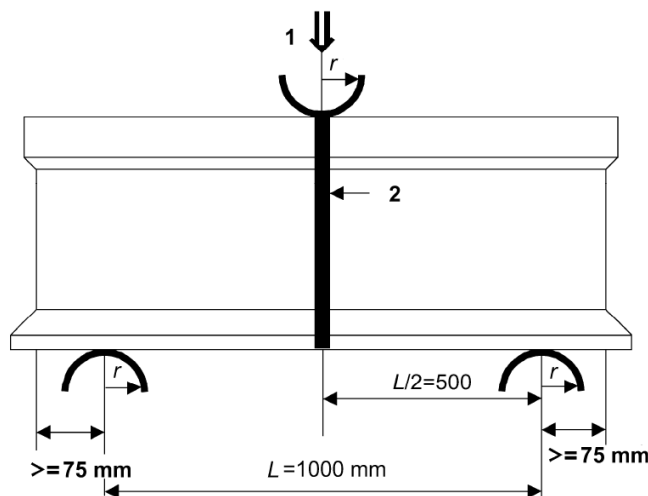


3.2 pav. Paviršiaus kiečio bandymų vietos: 1 – bėgio viršaus centrinė linija; 2 – siūlės skersinė centrinė linija; 3 – bėgio važiuojamasis paviršius

Turi būti nustatytos trys kiekvienos siūlės kiečio vertės, kaip parodyta 3.2 paveiksle [5].

3.4 Lėtojo lenkimo bandymo procedūra

Mažiausioji suardymo apkrova (kN), suapvalinta iki artimiausių 5 kN, yra gaunama iš lygties $F = 0,0032 S$ (mažiausio tempiamojo lenkimo stiprio, lygaus 800 MPa, ekvivalentas), kur S (mm³) yra bėgio pado atsparumo momento, pateiktas standarte EN 13674–1. R320Cr bėgių markei galima naudoti alternatyvią formulę $F = 0,003 S$, kai tai nurodo geležinkelio administracija. Turi būti nurodyta ši pateikta formulė. Jeigu lėtojo lenkimo bandymu ultragarsinio atsako kilmė nėra nustatyta, nereikalingas joks tolesnis tyrimas. Pagrindiniai lėtojo lenkimo bandymo prietaiso matmenys pateikti 3.3 paveiksle.

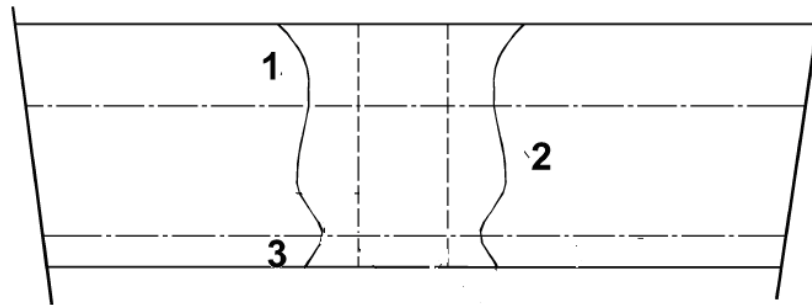


3.3 pav. Lėtojo lenkimo bandymo schema: 1 – apkrova; 2 – siūlė; $25 \text{ mm} \leq r \leq 70 \text{ mm}$; mažiausias bandinio ilgis = 1150 mm; apkrovimo sparta $\leq 60 \text{ kN/s}$

Apkrova turi veikti siūlės važiuojamasis paviršių viename taške. Bandymas turi būti tęsiamas iki suardymo. Jėgos turi būti matuojamos 2.0 klasės apkrovos jutikliu, patikrintu pagal EN ISO 7500–1:2004, [5].

3.5 Sulydymo zona. Forma ir matmenys

Po ėsdinimo turi būti atliktas sulydymo zonos matavimas 3.4 paveiksle pavaizduotuose pjūviuose. Išmatuoti terminio poveikio zonos plotį ir siūlės plotį, bėgio viršutinėje dalyje, kakliuke ir pade.



3.4 pav. Sulydymo zonos forma išėsdintame išilginiame vertikaliame pjūvyje: 1 – matuojamas sulydymo zonos ir siūlės plotis viršutinėje bėgio dalyje; 2 – matuojamas sulydymo zonos ir siūlės plotis kakliuke
3 - matuojamas sulydymo zonos ir siūlės plotis pade

3.6 Ėsdinimo procedūra

Daugelis makrostruktūros charakteristikų yra nustatomos po ėsdinimo, kuris atliekamas pagal toliau aprašytą metodą: vatos gabalėlis suvilgomas 5 % azoto rūgštyje ir švelniai tepamas ant nupoliruoto bėgio paviršiaus, po 30 s išryškėja makrostruktūra, tada bėgis nuplaunamas vandeniu, nudžiovinamas ir nuriebalinamas paviršius spiritu.

3.7. Terminiškai suminkštintos zonos plotis

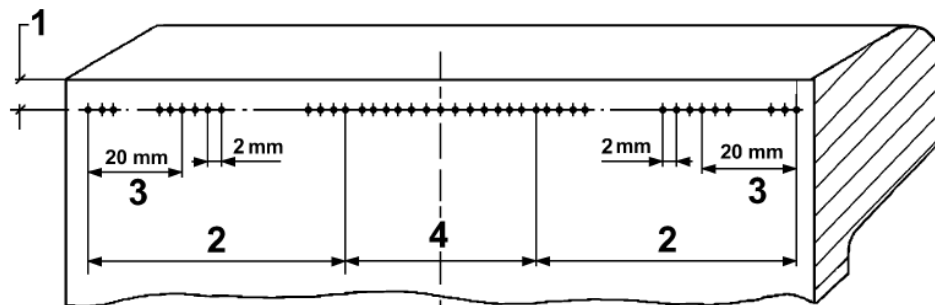
Terminiškai suminkštinta zona abiejose suvirintos siūlės pusėse turi turėti vieną iš toliau pateiktų plokčių (3.4 lentelė), kuris turi atitikti geležinkelio administracijos pateiktą informaciją [5].

3.4 lentelė. Termiškai suminkštintos zonos intervalai

Ne daugiau kaip	Termiškai apdorotas bėgis	Termiškai neapdorotas bėgis
20 mm	✓	✓
30 mm	✓	✓
40 mm	✓	✓
50 mm	✓	-
60 mm	✓	-

3.8 Termiškai suminkštintos zonos pločio matavimo procedūra

Kiečio matavimas. Turi būti išmatuotas kiečio pasiskirstymas termiškai suminkštintoje zonoje, atliekant Vikerso kiečio bandymą naudojant prietaisą EQUA TIP2 (Šveicarija), kalibruota 2009 06 16 Vilniaus meterologijos centras. Įspaudai turi būti linijoje, esančioje nuo 3 mm iki 5 mm žemiau bėgio važiuojamojo paviršiaus bėgio išilginėje ašyje, tai pat bėgio kakliuke apie 90mm nuo bėgio važiuojamosios dalies paviršiaus ir bėgio pade 3–5mm nuo bėgio apačios. Kiečio matavimo zona turi tęstis skersai siūlės ir į abi puses, kol bus pasiekta 20 mm nepaveikto pirminio bėgio kiečio. Matavimai turi būti atliekami kas 2 mm žingsniu, viršutinėje bėgio dalyje, kaip parodyta 3.5 paveiksle. Bėgio kakliuke ir pade įspaudų intervalas 5–10mm.

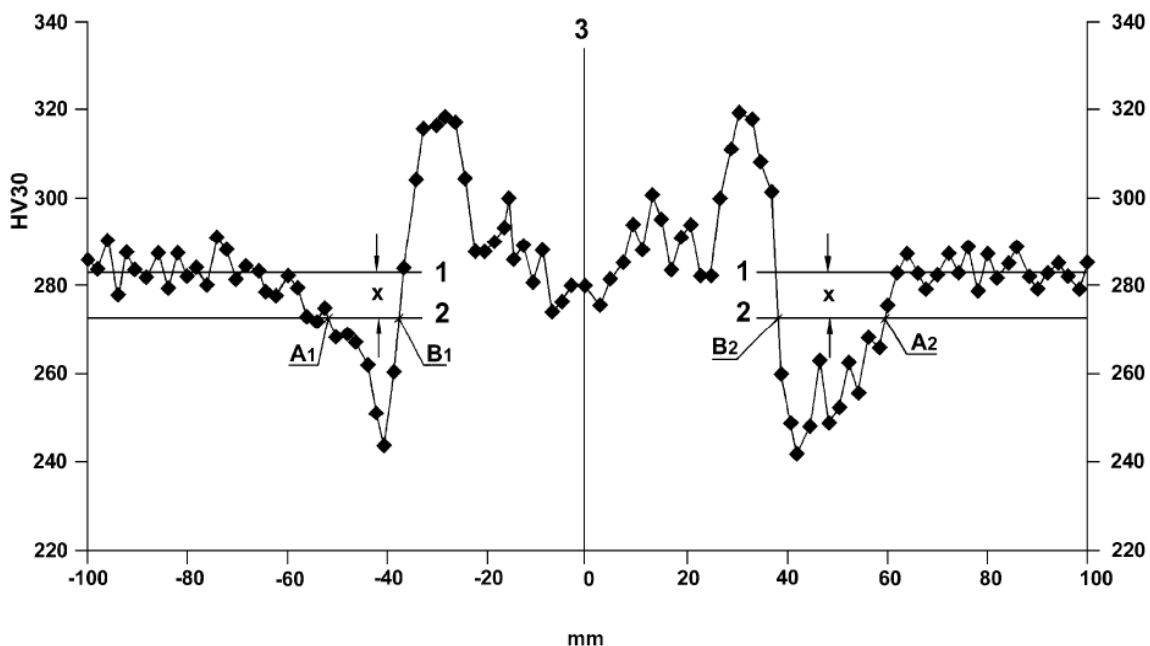


3.5 pav. Išilginis kiečio matavimas: 1 – storis nuo 3 mm iki 5 mm; 2 – pirminis bėgis; 3 – nepaveiktas pirminis bėgis; 4 – sulydymo zona

Gauti kiečio matavimo rezultatai turi būti užrašyti skaitinėmis vertėmis ir užrašyti grafiškai. Kiečio duomenų vertinimas

Bendrieji dalykai

Kiečio matavimo rezultatai turi būti užrašyti grafiškai taip, kaip pavaizduota 3.6 paveiksle.



3.6 pav. Tipinis kietojo profilio: 1 – 1 linija; 2 – 2 linija; 3 – siūlės centrinė linija

Pirminio bėgio vidutinis kietis

Pirminio bėgio vidutinis kietis abiejose siūlės pusėse yra skaičiuojamas iš bent dešimties kietojo matavimų, atliktų kas 2 mm bėgio viršutinėje dalyje ir kas 5–10 mm bėgio kakliuke ir pade, nepaveiktame pirminiame bėgyje. Vidutinį kietį atitinkanti linija kietojo grafike nubrėžiama abiejose siūlės pusėse, kaip pavaizduota paveiksle (1 linija).

Matavimo kietojo linija

Matavimo kietojo linija (2 linija) nubrėžiama lygiagrečiai su vidutinio kietojo linija atstumu X kietojo vienetų žemiau vidutinio kietojo linijos. X vertė priklauso nuo bėgio markės:

- X = 10, kai markės yra: R200, R220, R260, R260Mn, R320Cr;
- **X = 25, kai markės yra: R350HT, R350LHT.**

Terminiškai suminkštintos zonos pločio matavimas

Terminiškai suminkštintos zonos plotis nustatomas kaip atstumas tarp taškų A ir B anksčiau pateiktame 3.6 paveiksle.

Pirminio bėgio kietojo kitimas

Kai kuriais atvejais nepaveikto pirminio bėgio kietis gali turėti didelį standartinį kietojo nuokrypį vidurkio atžvilgiu. Dėl to kai kurie atskiri matavimo taškai nepaveiktame bėgyje gali atsidurti žemiau matavimo kietojo linijos (2 linijos). Terminiškai suminkštintos zonos pločio matavimo tikslams, atskirus žemiau matavimo kietojo linijos esančių taškų galima nepaisyti, jeigu taikytinos a) ir b) sąlygos:

a) žemiau 2 linijos yra ne daugiau kaip vienas kiekio taškas iš tų, kurie naudoti pirminio bėgio vidutiniam kietumui gauti;

b) žemiau 2 linijos esantis taškas yra toliau kaip 4 mm nuo A taško 3.6 paveiksle [5].

3.9 Cheminė analizė

Tiekėjas turi nurodyti kiekvieno elemento pagal 3.5 lentelę vidutinės koncentracijos vertes. Faktinės vertės turi nesiskirti daugiau negu darbinis intervalas, ir šis intervalas turi neviršyti leidžiamo verčių intervalo.

Cheminė analizė turi būti atlikta bėgio siūlės važiuojamojo paviršiaus sulydymo zonoje bent 5 mm atstumu nuo siūlės skersinės ašies ir bent 5 mm atstumu nuo sulydymo zonos ribos. Analizės rezultatai turi neviršyti suvirinimo darbų atlikėjo nurodytų intervalų ribų [5].

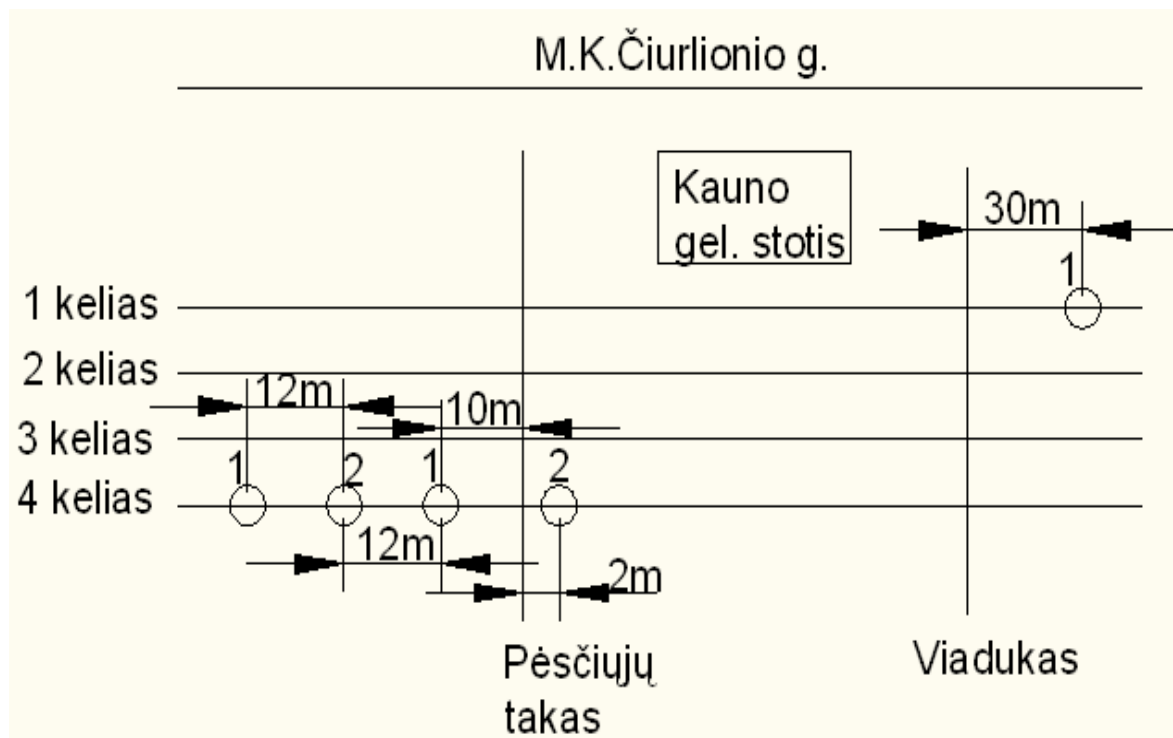
3.5 lentelė. Cheminė sudėtis

Elementas	Leidžiamas intervalas %		Darbinis intervalas	Bėgio markė EN 13674-1
	Mažiausias	Didžiausias		
Anglis	0,30	0,55	± 0,12	R200
	0,35	0,70	± 0,12	R220
	0,40	0,75	± 0,12	R260, R260Mn
	0,50	0,85	± 0,12	R320Cr, R350HT, R350LHT
Silicis	0,00	1,20	± 0,25	Visos
Manganas	0,40	1,00	± 0,20	R200
	0,45	1,20	± 0,20	R220
	0,50	1,40	± 0,20	R260, R320 Cr, R350HT, R350LHT
	0,50	1,60	± 0,20	R260Mn
Fosforas	0,00	0,035	-	Visos
Siera	0,00	0,035	-	Visos
Chromas	0,00	0,20	–	R200, R220, R260, R260Mn
	0,00	0,80	± 0,20	R320Cr, R350HT, R350LHT
Molibdenas	0,00	0,10	–	Visos
Nikelis	0,00	0,10	–	Visos
Aliuminis	0,02	0,60	± 0,20	Visos
Varis	0,00	0,20	–	Visos
Alavas	0,00	0,02	–	Visos
Stibis	0,00	0,02	–	Visos
Titanas	0,00	0,05	–	Visos
Niobis	0,00	0,01	–	Visos
Vanadis	0,00	0,25	–	R200, R220, R260, R260Mn
	0,00	0,45	–	R320Cr
	0,00	0,65	–	R350HT, R350LHT

3.10 Ilgalaikiai bandymai

Ultragarsiniai tyrimai atliekami visoms termitu suvirintoms jungtims:

- iškart po suvirinimo, kai atšąla suvirinta jungtis;
- praėjus vienam mėnesiui po suvirinimo;
- praėjus trimis mėnesiams po suvirinimo;
- praėjus pusei metų po suvirinimo;
- praėjus metams po suvirinimo.



3.7 pav. Principinė schema, kuri parodo eksploatuojamus geležinkelio kėlius Kaune, kurie suvirinti pagal tiriamą technologiją: 1 – tarpas tarp bėgių 25 mm, normali termito porcija, 2,5 min. Pakaitinimas; 2 – tarpas tarp bėgių 25 mm, normali termito porcija, 5 min. pakaitinimas

4. TYRIMŲ REZULTATAI

4.1 Vizualinė suvirintos jungties apžiūros rezultatai

Po viršutinio sluoksnio nuvalymo ir galutinio šlifavimo suvirintos siūlės rumbelės paviršiaus vientisumas buvo patikrintas ją apžiūrint: nebuvo jokių įtrūkių, kurių ilgis 2 mm ar didesnis. Sandūros tarp siūlės rumbelės ir bėgio bei tarp išlajos ir bėgio nelaikomi įtrūkiais; bandinyje, neskaitant išlajos, nebuvo jokių didesnių kaip 3 mm porų, ir nebuvo daugiau, kaip trijų porų, kurių dydis nuo 2 mm iki 3 mm; šlako ar smėlio intarpai neviršijo 4.1 lentelėje pateiktų ribų. Joks defektas nebuvo patekęs į bėgio skerspjūvį ar siekė siūlės rumbelės ir bėgio susikirtimo briauną.

4.1 lentelė. Didžiausi šlako ir smėlio defektų matmenys

Paviršiaus matmuo (maks.)	Storis (maks.)
10 mm	3 mm
15 mm	mm
20 mm	1 mm

Bėgio galvutė ir nušlifuotas siūlės rumbelės paviršius abiejose bėgio galvutės pusėse atitiko šiuos reikalavimus: nebuvo jokių įtrūkių. Sandūros tarp siūlės rumbelės ir bėgio bei tarp išlajos ir bėgio nelaikomos įtrūkiais; nebuvo jokių defektų (porų, šlako ir smėlio intarpų, metalo purslų), kurių matmenys didesni kaip 1 mm; daugiausiai ne didesnio kaip 2 mm matmens defektas, ne daugiau kaip 10 % bandomųjų siūlių arba vienoje siūlėje, jeigu iš viso yra mažiau kaip 10 siūlių.

Atlikus vizualinę suvirintų jungčių apžiūrą, jokių defektų nebuvo rasta.

4.2 Ultragarsinis suvirintos jungties tyrimo rezultatai

Termitu suvirintų bėgių siūlių ultragarsiniai bandymai buvo atlikti visoms tiriamosioms bėgių jungtims, kurios buvo suvirintos, pagal technologiją - jokių defektų nebuvo aptikta, kurios sandūros buvo suvirintos, nesilaikant technologijos, tai yra prieš suvirinimą nebuvo atliktas pakaitinimas, defektų buvo aptikta.

4.3 Važiuojamosios bėgio dalies paviršiaus kietumo matavimo, Brinelio metodu rezultatai

4.2 lentelė. Važiuojamosios bėgio dalies paviršiaus kietumo matavimo rezultatai

Bandinio nr.	Bandymo rezultatai		
	1. HB	2. Siūlės centrinė linija HB	3. HB
[1] BHHD 5 min	375	350	354
[2] BH 5 min	350	358	350
[3] BHHD 2,5 min	375	375	373
[4] BH 5 min	356	350	341
[5] BHHD 2,5 min	378	373	378
[6] BHHD 5 min	350	350	350

Atlikus važiuojamosios bėgio dalies paviršiaus kietumo matavimus, Brinelio metodu, buvo gauti šie rezultatai: didžiausias paviršiaus kietumas 378 HB, kai pakaitinimas buvo 2,5 min su padidinta termito porcija, o mažiausias kietumas 341 HB, kai pakaitinimas buvo 5 min su normalia termito porcija. Galime daryti išvadą, kad pakaitinus bėgių galus prieš suvirinimą trumpiau t.y. 2,5min važiuojamosios dalies paviršiaus kietumas yra didesnis, nei bėgių galus pakaitinus 5 min. Matavimo rezultatai atitinka – „27/K Bėgių naudojimo ir naujų bėgių priėmimo taisyklės“ punkto 3.2.4 reikalavimus: grūdintų bėgių suvirintų sandūrų galvutės metalo kietumas turi būti HB 330–380. Leidžiamas kietumo sumažėjimas suvirintoje sandūroje – 10 % žemiau apatinės ribos, termiškai apdirbtos suvirintos sandūros pereinamoje dalyje – iki 15 %. Taip pat rezultatai tenkina LST EN 14730 reikalavimus (3.3 lentelė).

4.4 Lėtojo lenkimo bandymo rezultatai

Po lėtojo lenkimo bandymo apžiūrimi lūžiai.

4.3 lentelė. Lėtojo lenkimo bandymų rezultatai

Bandinio nr.	Bandymo rezultatai	
	Suardymo apkrova, kN	Įlinkis, mm
BHHD 5 min	1332	9
BH 5 min	1517	12
BHHD 2,5 min	1289	10
be pakaitinimo (vokiečių firmos suvirinimo medžiagos)	1095	10
be pakaitinimo (ispanų firmos suvirinimo medžiagos)	1332	12

Lėtojo lenkimo bandymų metu didžiausia suardymo 1517 kN apkrova ir didžiausias įlinkis 12 mm gautas, kai pakaitinimas buvo 5 min su normalia termito porcija, iš rezultato darome išvadą, kad, kur jungties kietumas mažiausias pagal Brinelio tyrimą, ten suardymo apkrova ir įlinkis didžiausias. Mažiausia suardymo 1095 kN bėgio, kuris buvo suvirintas, be pakaitinimo ir jame buvo rasta defektų, tai dar kartą patvirtina, kad bėgių galų pakaitinimą butina atlikti.. Mažiausias įlinkis 9 mm gautas, kai suvirinimas buvo atliktas pakaitinus 5 min. su padidinta termito porcija



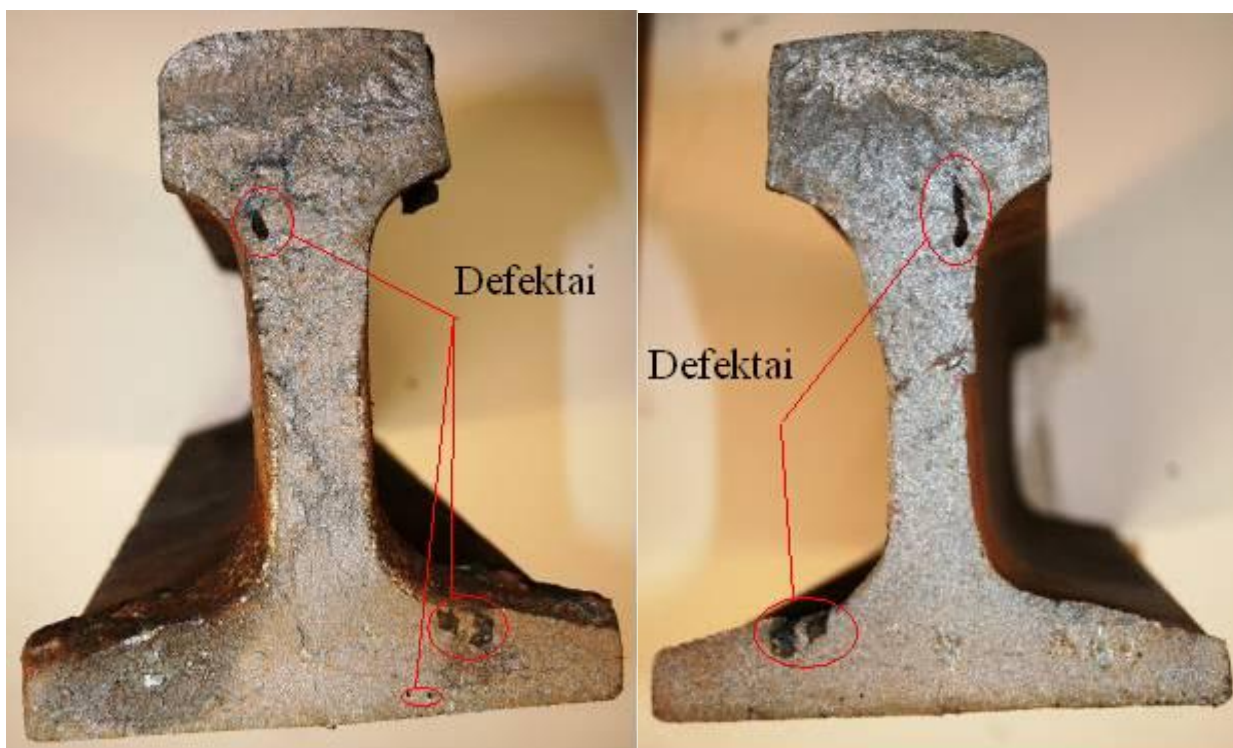
4.1 pav. BHHD 5 min. Jokių matomų defektų. Suardymo apkrova 1332 kN, įlinkis 9 mm



4.2 pav. BH 5 min. Jokių matomų defektų. Suardymo apkrova 1517 kN, įlinkis 12 mm



4.3 pav. BHHD 2,5 min. Jokių matomų defektų. Suardymo apkrova 1289 kN, įlinkis 10 mm



4.4 pav. Bėgis suvirintas nesilaikant technologijos, be išankstinio pakaitinimo. Suardymo apkrova 1095 kN, įlinkis 10 mm

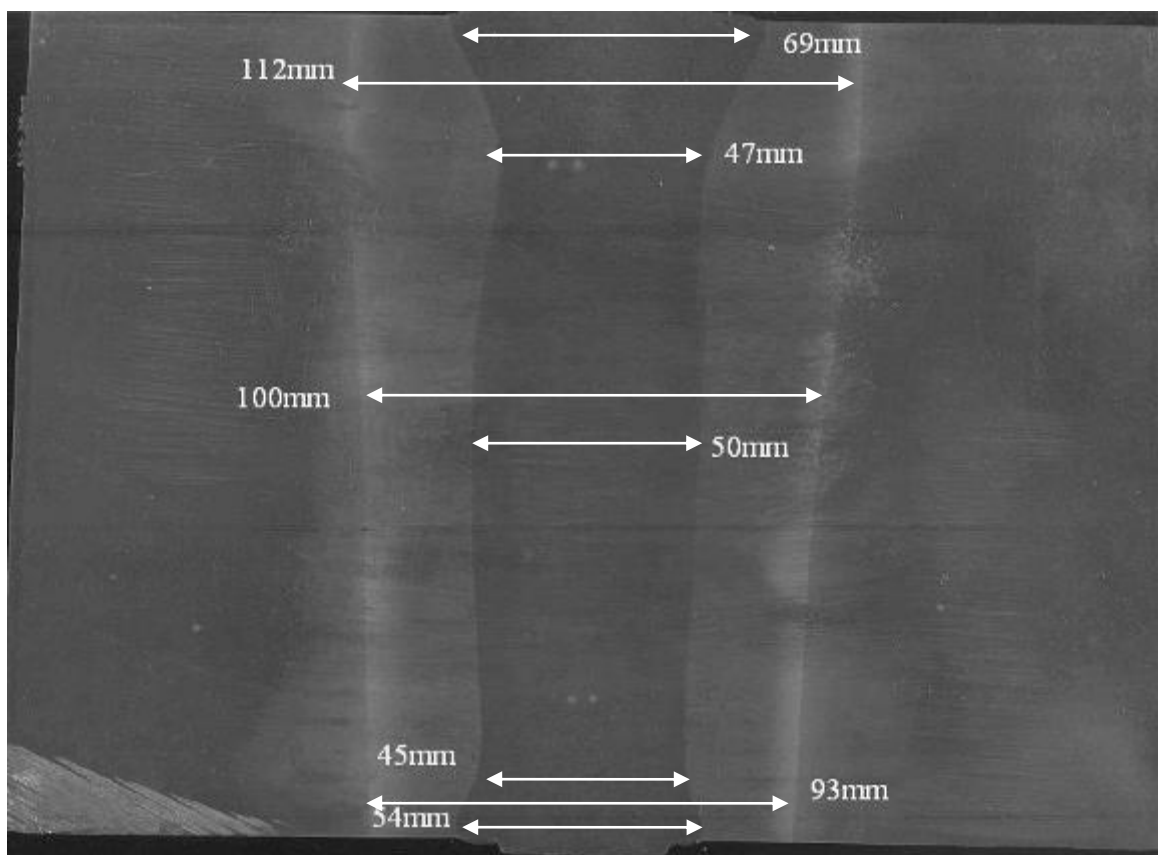


4.5 pav. Suvirintos termitiniu būdu, bėgio jungties lūžis

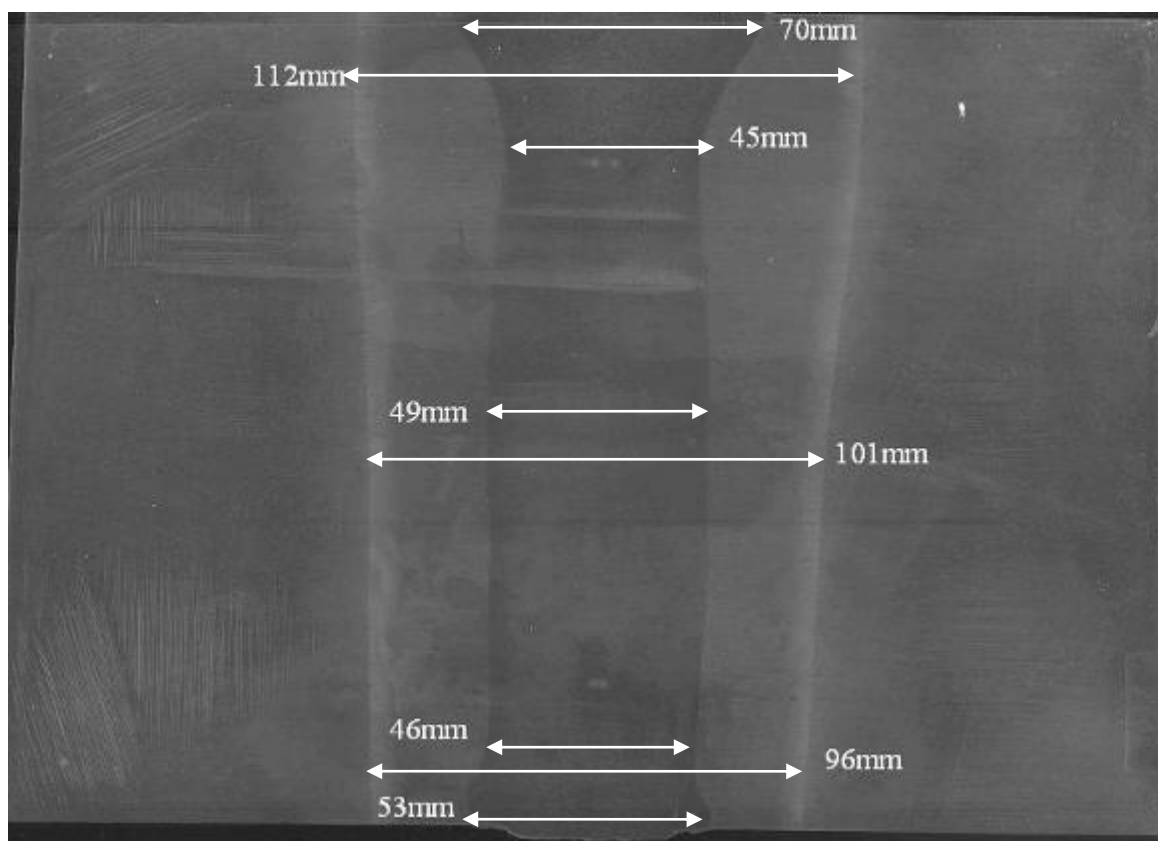
Jungties suardymas įvyko, per termitinio suvirinimo siūlę, tai kaip reikalauja termitinio suvirinimo standartas.

4.5 Sulydymo zonos. Formos ir matmenų matavimo rezultatai

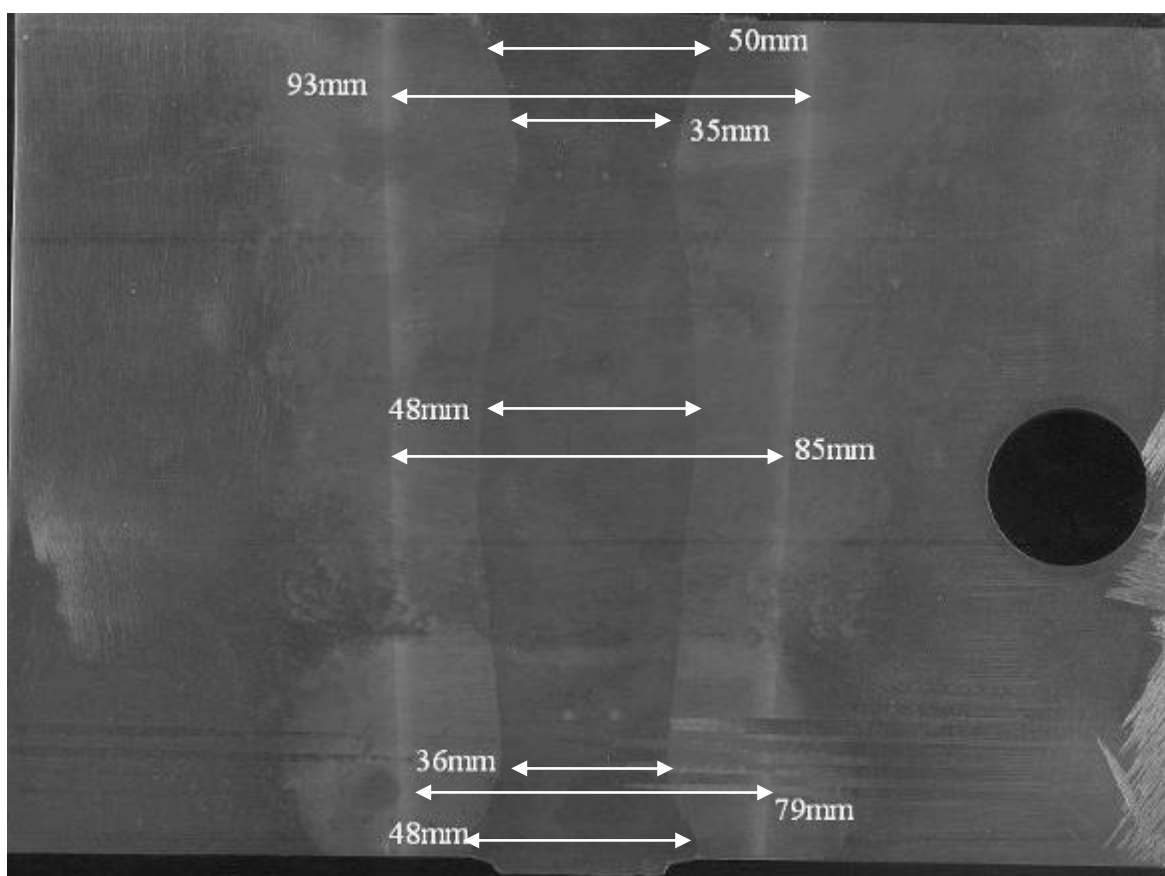
Atlikus bėgių ėsdinimą, buvo išmatuotos terminio poveikio zonų ir siūlių pločiai.



4.6 pav. BHHD 5 min. makrostruktūra



4.7 pav. BH 5 min. makrostruktūra



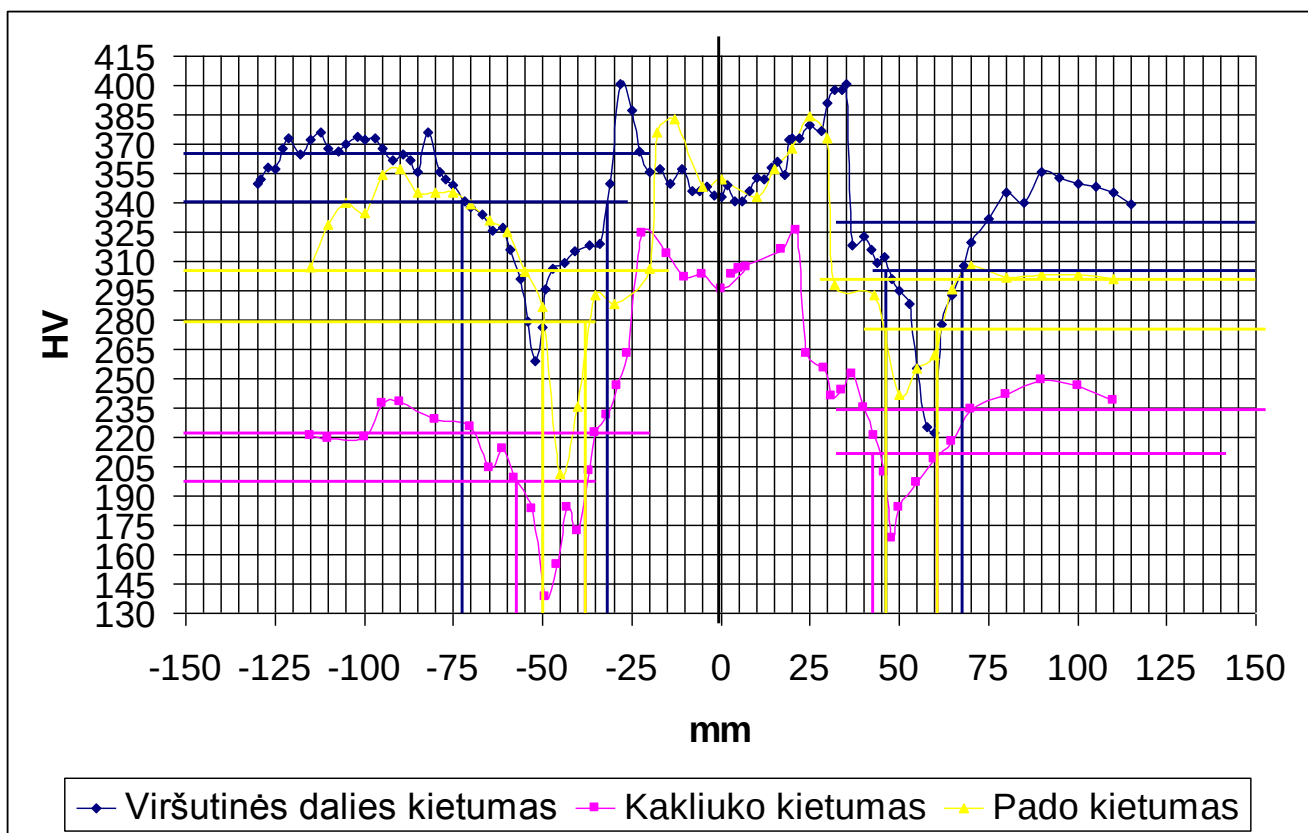
4.8 pav. BHHD 2,5 min. makrostruktūra

Iš makrostruktūros galime spręsti, kad plačiausios siūlės ir plačiausios matomos terminio poveikio zonos, gautos suvirinus jungtis su 5 min. pakaitinimu, bei normalia ir padidinta termito porcija. Siauriausia siūlė gauta suvirininus su padidinta termito porcija, bet mažesniu pakaitinimo laiku t. y. 2,5 min. Galime daryti išvadą, kad siūlės ir terminio poveikio zonos platumui įtakos turi ne termito porcija, o pakaitinimo laikas prieš suvirinimą.

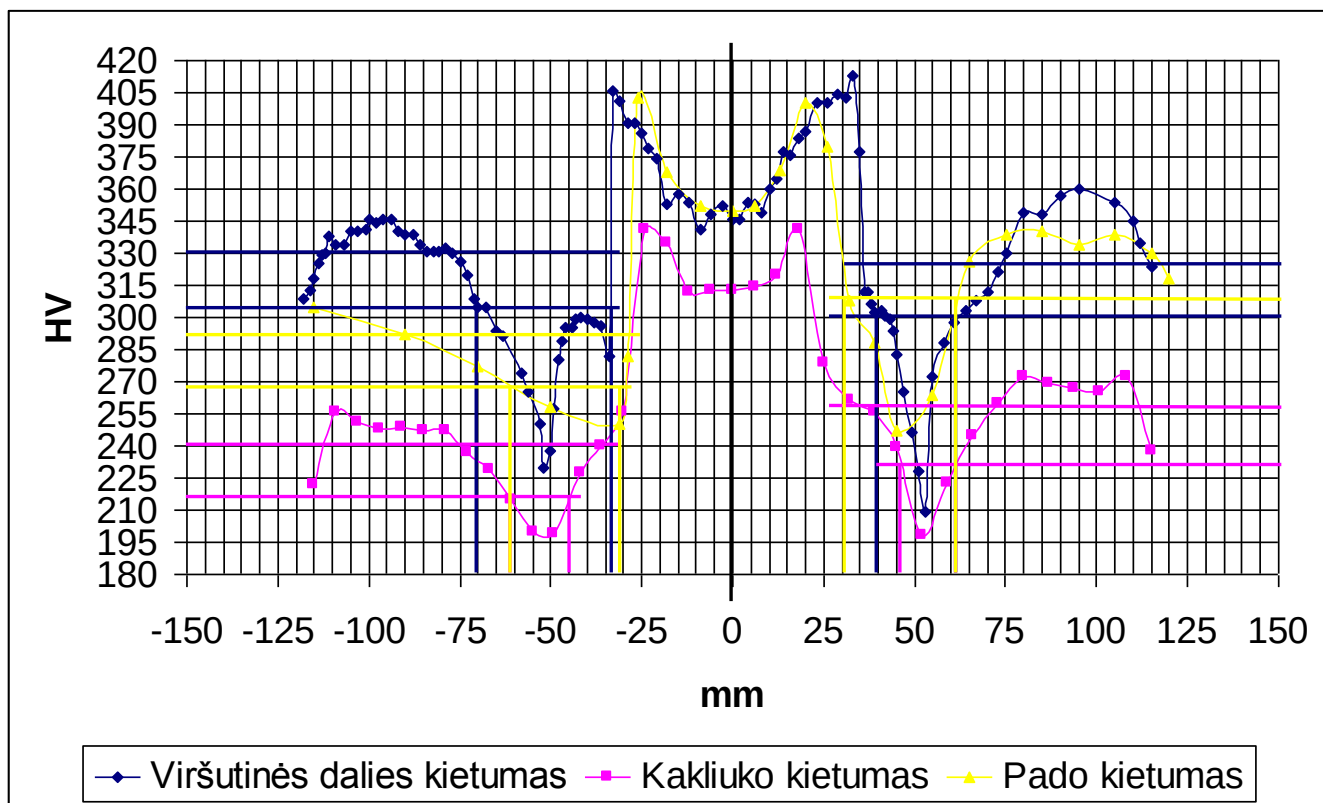
4.6 Termiškai suminkštintos zonos pločio matavimo rezultatai

4.4 lentelė. Termiškai suminkštintos zonos pločio matavimo rezultatai

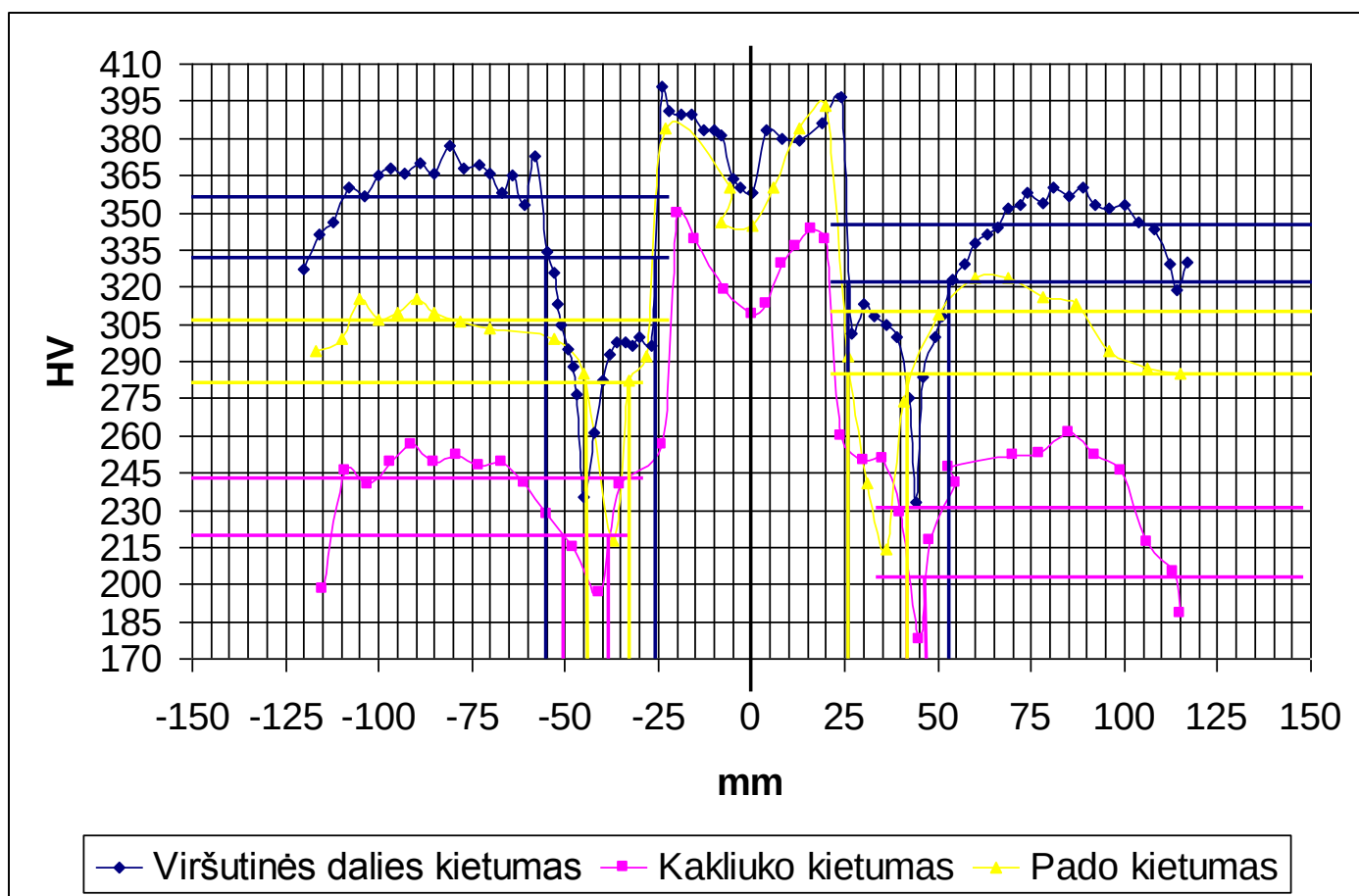
Bėgio žymėjimas	Viršutinė bėgio dalis		Bėgio kakliukas		Bėgio padas	
	Kairė pusė (mm)	Dešinė pusė (mm)	Kairė pusė (mm)	Dešinė pusė (mm)	Kairė pusė (mm)	Dešinė pusė (mm)
BH 5 min.	39	21	20	16	13	16
BHHD 5 min.	36	22	17	16	31	32
BHHD 2,5 min.	29	27	12	5	10	16



4.9 pav. Termiškai suminkštintos zonos kietčio (Vikerso metodu) ir pločio matavimas, bėgis BH 5 min.



4.10 pav Termiškai suminkštintos zonos kietčio (Vikerso metodu) ir pločio matavimas, bėgis BHHD 5 min.



4.11 pav. Termiškai suminkštintos zonos kietio (Vikerso metodu) ir pločio matavimas, bėgis BHHD 2,5 min.

Išmatavus termiškai suminkštintų zonų kietį, Vikerso metodu, ir atlikus matavimus, kurie norodyti LST EN 14730–1, gavome suminkštintų zonų pločius, kurių rezultatai tenkina intervalus, kurie yra surašyti, paminėtame standare. Nei vienoje iš tirtų jungčių, termiškai suminkštintos zonos plotis neviršijo 40 mm. O šiam bėgių tipui, kuris yra termiškai apdorotas, leistinas termiškai suminkštintos zonos plotis yra 60 mm. Iš gautų kietio rezultatų galima teigti, kad mažiausias tirtų bėgių kietumas yra kakliuko zonoje, o didžiausias bėgių viršutinėje dalyje, nes ji yra termiškai sukietinta. Iš gautų rezultatų galime teigti, kad didžiausias termiškai suminkštintos zonos plotis yra, bėgių viršutinėje dalyje, visų trijų jungčių rezultatai panašūs. Kakliuke ir pade, mažiausias termiškai suminkštintos dalies plotas gautas bėgių jungtyje, kurios pakaitinimo laikas 2,5 min., su padidinta termito porcija (žymėjimas BHHD 2,5 min.).

4.7 Cheminės sudėties matavimo rezultatai

4.5 lentelė. Cheminė sudėtis

Bėgis	% elemento masėje														
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W
HB 5 min. padas	0,86	0,70	1,20	0,023	0,011	0,02	0,216	0,03	< 0,01	0,02	0,22	< 0,001	< 0,001	0,01	0,01
HB 5 min. galvutė	0,82	0,73	1,20	0,023	0,011	0,02	0,216	0,03	< 0,01	0,02	0,22	< 0,001	< 0,001	0,01	0,01
BHHD 5min. padas	0,81	0,81	1,29	0,023	0,007	0,02	0,207	0,03	< 0,01	0,02	0,22	< 0,001	< 0,001	0,02	0,01
BHHD 5min. galvutė	0,81	0,83	1,29	0,025	0,008	0,02	0,193	0,03	< 0,01	0,02	0,23	< 0,001	< 0,001	0,01	0,01
BHHD 2,5min padas	0,78	0,69	1,36	0,026	0,009	0,03	0,198	0,03	< 0,01	0,02	0,23	< 0,001	< 0,001	0,01	0,02
BHHD 2,5min galvutė	0,78	0,73	1,37	0,027	0,009	0,03	0,203	0,03	< 0,01	0,02	0,23	< 0,001	< 0,002	0,02	0,03
Pagr. Metalas	0,77	0,30	0,91	0,018	0,006	< 0,01	< 0,001	0,02	< 0,01	0,04	0,04	< 0,001	< 0,001	0,03	< 0,01

Ištyrus cheminę bėgio plieno ir siūlės plieno sudėtį, matyti, kad visos medžiagos neviršija reikiamo kiekio, taip pat nėra ir trūkumo. Daugiausia anglies turi ta suvirinta jungtis, kurios pakaitinimo laikas 5 min. Su normalia termito porcija, o mažiausiai yra siūlėje, kurios pakaitinimo laikas 2,5 min, su padidinta termito porcija, taip pat pagrindiniame metale. Didžiausias mangano kiekis yra siūlėje, kurios pakaitinimo laikas 2,5 min su padidinta termito porcija, o mažiausias pagrindiniame metale. Vanadžio kiekis visose siūlėse apylygis, tik pagrindiniame metale - mažiau.

4.8 Ilgalaikiai bandymų rezultatai

Pagal reikalavimus tikrinamos ir Kaune eksploatuojamos suvirintos jungtys, kurios suvirintos, pagal tiriamą technologiją. Buvo patikrintos suvirinimo siūlės: iškart po suvirinimo, praėjus 1 – mėnesiui, 3 – mėnesiams, 6 – mėnesiams, 12 – mėnesių po suvirinimo, jokių defektų nerasta. Taip pat stebima, kiek nudyla suvirintos jungtys, kurios suvirintos skirtingais pakaitinimo prieš suvirinimą laikais.

IŠVADOS

1. Atlikus vizualinę suvirintų jungčių apžiūrą, jokių defektų nebuvo rasta.
2. Atlikus siūlių ultragarsinius bandymus, defektų nerasta, siūlėse, kurios suvirintos laikantis technologinių reikalavimų, siūlės, kurios suvirintos nesilaikant technologinių reikalavimų, buvo aptikta defektų.
3. Matavimo rezultatai atitinka Lietuvos geležinkelių reikalavimus. Atlikus bandymą Brinelio metodu, didžiausias paviršiaus kietumas 378 HB, kai pakaitinimas buvo 2,5 min su padidinta termito, o mažiausias kietumas 341 HB, kai pakaitinimas buvo 5 min su normalia termito porcija.
4. Lėtojo lenkimo bandymų metu didžiausia suardymo 1517 kN apkrova ir didžiausias įlinkis 12 mm gautas, kai pakaitinimas buvo 5 min su normalia termito porcija. Mažiausia suardymo apkrova 1095 kN bėgio, kuris buvo suvirintas be pakaitinimo ir jame buvo rasta defektų. Mažiausias 9 mm įlinkis gautas, kai suvirinimas buvo atliktas pakaitinus 5 min. su padidinta termito porcija.
6. Kur gautas didžiausias paviršiaus kietumas 378 HB, ten gauta mažiausia suardymo apkrova 1289 kN, o kur mažiausias kietumas 341 HB, ten didžiausia suardymo apkrova 1517 kN, atlikus termitinį siūlių suvirinimą pagal technologiją.
7. Iš makrostruktūros galime spręsti, kad plačiausios siūlės ir plačiausios matomos terminio poveikio zonos, gautos suvirinus jungtis su 5 min. pakaitinimu, bei normalia ir padidinta termito porcija. Siauriausia siūlė gauta suvirininus su padidinta termito porcija, bet mažesniu pakaitinimo laiku t. y. 2,5 min. Galime daryti išvadą, kad siūlės ir terminio poveikio zonos platumui įtakos turi ne termito porcija, o pakaitinimo laikas prieš suvirinimą.
8. Išmatavus termiškai suminkštintų zonų kietį, Vickerso metodu, ir atlikus matavimus, kurie norodyti LST EN 14730–1, gavome suminkštintų zonų plotius, kurių rezultatai tenkina intervalus, kurie yra surašyti, paminėtame standare. Nei vienoje iš tirtų jungčių, termiškai suminkštintos zonos plotis neviršijo 40 mm. O šiam bėgių tipui, kuris yra termiškai apdorotas, leistinas termiškai suminkštintos zonos plotis yra 60 mm. Iš gautų kietumo rezultatų galima teigti, kad mažiausias tirtų bėgių kietumas yra kakliuko zonoje, o didžiausias bėgių viršutinėje dalyje, nes ji yra termiškai sukietinta. Iš gautų rezultatų galime teigti, kad didžiausias termiškai suminkštintos zonos plotis yra, bėgių viršutinėje dalyje, visų trijų jungčių rezultatai panašūs. Kakliuke ir pade, mažiausias termiškai suminkštintos dalies plotas gautas bėgių jungtyje, kurios pakaitinimo laikas 2,5 min., su padidinta termito porcija (žymėjimas BHHD 2,5 min.).
9. Ištyrus cheminę bėgio plieno ir siūlės plieno sudėtį, matyti, kad visos medžiagos neviršija reikiamo kiekio, taip pat nėra ir trūkumo. Daugiausia anglies turi ta suvirinta jungtis, kurios pakaitinimo laikas 5 min. Su normalia termito porcija, o mažiausiai yra siūlėje, kurios pakaitinimo laikas 2,5 min, su padidinta termito

porcija, taip pat pagrindiniame metale. Didžiausias mangano kiekis yra siūlėje, kurios pakaitinimo laikas 2,5 min su padidinta termito porcija, o mažiausias pagrindiniame metale. Vanadžio kiekis visose siūlėse apylygis, tik pagrindiniame metale - mažiau.

10. Pagal reikalavimus tikrinamos ir Kaune eksploatuojamos suvirintos jungtys, kurios suvirintos, pagal tiriamą technologiją. Buvo patikrintos suvirinimo siūlės: iškart po suvirinimo, praėjus 1 – mėnesiui, 3 – mėnesiams, 6 – mėnesiams, 12 – mėnesių po suvirinimo, jokių defektų nerasta. Taip pat stebima, kiek nudyla suvirintos jungtys, kurios suvirintos skirtingais pakaitinimo prieš suvirinimą laikais.

11 . Pakaitinimą prieš suvirinimą būtina atlikti, nes jis: pašalina įvairius likučius ar daleles iš liejimo formos ir glaisto, sudaro tinkamas sąlygas bėgiams ataušinti ir taip išvengiama defektų

LITERATŪRA

1. L. P. Lingaitis, L. Liudvinavičius, J. Butkevičius, I. Podagėlis, K. Sakalauskas, G. Vaičiūnas, G. Bureika, I. Gailienė, V. Petrenko, R. Subačius, P. 2009. Geležinkeliai. Vilnius: Technika: 53-55. ISBN 978-9955-28-399-7.
2. A. Šapošnikovas. Bėgių naudojimo ir naujų bėgių priėmimo taisyklės. P. 2003. 6–81.
3. Žurnalas. Nr. 1 (3). P. 2002. Suvirinimas. Panevėžio spaustuvė: 3–7. ISSN 1648–2611.
4. LST EN ISO 13674-1. Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Bėgiai. 1 dalis. 46 kg/m ir didesnio svorio, plataus pagrindo geležinkelio bėgiai P. 2004.
5. LST EN ISO 14730-1. Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Termitinis bėgių suvirinimas. 1 dalis. Suvirinimo procedūros patvirtinimas P. 2008.
6. LST EN ISO 6506-1. Brinelio kietumo nustatymas. 1 dalis. Bandymo metodas P. 2006.
7. LST EN ISO 6507-1 Metalai. Vickerso kietumo nustatymas 1 dalis. Bandymo metodas. P. 2006.
8. LST EN ISO 7500-1 Metalai. Statinių vienašių bandymų mašinų patikra. 1 dalis. Tempimo ir (arba) gniuždymo mašinos. Jėgos matavimo sistemos patikra ir kalibravimas. P. 2004.
9. P. Cawley, P. Wilcox, D.N. Alleyne, B. Pavlakovic, M. Evans, K. Vine and M.J.S. Lowe RCNDE, Dept Mech Eng, Imperial College, London, UK Guided Ultrasonics (Rail) Ltd, 17 Doverbeck Close, Nottingham. Long range inspection of rail using guided waves – field experience. P. 2005 http://www.ndt.net/article/wcndt2004/pdf/railroad_inspection/399_cawl.pdf žiūrėta 2010 04 24.
10. J.W. Ringsberg, B.L. Josefson and A. Skyttebol Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. Fatigue crack growth in welded rails P. 2006 <http://www.icf11.com/proceeding/EXTENDED/4237.pdf> žiūrėta 2010 04 24.
11. Melissa A. Sutton BE(Civil) Track Engineering, QR, Queensland Australia Martin H. Murray BE(Civil), PhD(Melb) Queensland University of Technology, Australia. Effect of maintenance on misaligned rail weld. P 2006 <http://eprints.qut.edu.au/5766/1/5766.pdf> žiūrėta 2010 04 24.
12. Krasimir Staykov, Damyan Ganchev, Svetoslav Kutzarov, Bogomil Yochev, Technical University of Sofia – Bulgaria. Long Range Ultrasonic Technique for Rail Inspection. P. 2007 <http://www.ndt.net/article/hsndt2007/files/BogomilYOCHEV.pdf> žiūrėta 2010 04 24.
13. The influence of the working procedures on the formation and shape of the HAZ of flash butt and aluminothermic welds in rails P.2008 <http://www.innotrack.net/docs/deliverables/d461.pdf> žiūrėta 2010 04 25.
14. Luis I. Maal. Gas Pressure Welds and Hollink Slot Welds Testing at the Facility for Accelerated Service Testing P.2008 <http://www.fra.dot.gov/downloads/research/rr0817.pdf> žiūrėta 2010 04 25.

15. Ryuichi Yamamoto. Advances in Gas Pressure Welding Technology for Rails P.2007 <https://webform.rtri.or.jp/ent/entry/backnumbers/17/RTA-17-99.pdf> žiūrėta 2010 04 25.
16. Bob Turpin, Dan Danks. Electrosag Field Welding of Railroad Rail. P. 2003 http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highspeedrail/hsr-37final_report.pdf žiūrėta 2010 04 25.
17. S.Rajanna, H.K.Shivanand, Akash Deep B.N Improvement in Mechanical Behavior of Expulsion with Heat treated Thermite Welded Rail Steel P. 2009 <http://www.waset.org/journals/waset/v60/v60-92.pdf> žiūrėta 2010 04 25.

Priedai